

## **Vorrichtung und Verfahren zum thermischen Behandeln von Halbleiterwafern**

- 5 Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zum thermischen Behandeln von Halbleiterwafern mit wenigstens einer zu oxidierenden Siliziumschicht und einer nicht zu oxidierenden Metallschicht, insbesondere einer Wolframschicht.
- 10 In der Halbleiterindustrie gibt es zunehmend die Notwendigkeit, Halbleiterbauelemente kleiner und effizienter auszubilden. Ein Beispiel hierfür ist die zunehmende Verwendung von Wolfram anstelle von Wolframsilizid als ein Bestandteil des Gate-Aufbaus bei MOS-Transistoren. Die Verwendung von Wolfram als Gate-Material ist vorteilhaft aufgrund des geringeren spezifischen
- 15 Widerstands von Wolfram gegenüber Wolframsilizid. Dies ermöglicht eine Reduzierung des Widerstands des Gates, was zu einer verbesserten elektrischen Leistung der Transistoren führt. Darüber hinaus kann die Höhe eines Gate-stacks durch die Verwendung von Wolfram im Gegensatz zu Wolframsilizid deutlich verringert werden, was bei den folgenden Füll- und Ätzschritten
- 20 zu einer wesentlichen Vereinfachung führt, da das Aspektverhältnis (Verhältnis von Höhe zum Abstand des stacks) geringer wird.

Ein derartiges Gate-stack wird üblicherweise auf einem Siliziumsubstrat ausgebildet, indem zunächst eine Gate-Oxidschicht, eine polykristalline Silizium-

25 schicht, eine Wolframnitridschicht, eine Wolframschicht und eine Siliziumnitridschicht aufgebracht werden.

Anschließend wird zum Definieren einzelner Gate-Bereiche eine selektive Ätzung durchgeführt, wobei die geätzten Seitenwände der Gate-stacks frei liegen.

30 Auf die Ätzung folgt eine Gate-stack-Seitenwandoxidation, die der Ausheilung von Ätzschäden und der Reduzierung von Leckströmen dient. Bei der Verwendung eines Wolfram-Gates muß dieser Prozeß selektiv erfolgen, d.h. während die polykristalline Siliziumschicht oxidiert werden muß, darf das

Wolfram nicht oxidiert werden, da die Bildung eines hochohmigen Wolframoxides die elektrische Funktionalität des Gates verhindert.

5 Eine derartige selektive Oxidation kann durch eine Naßoxidation in wasserstoffreicher Atmosphäre innerhalb einer Schnellheizanlage bzw. RTP-Anlage erreicht werden.

Eine allgemein hierfür einsetzbare RTP-Anlage ist beispielsweise in der auf die Anmelderin zurückgehenden DE 44 37 361 gezeigt.

10

Bei der bekannten RTP-Anlage ist der zu behandelnde Wafer in einer Quarzkammer aufgenommen und wird durch oberhalb und unterhalb der Quarzkammer liegende Lampenbanken erhitzt. Dabei ist es bekannt, eine thermisch stabile und in der Geometrie ähnliche lichtabsorbierende Platte in der Quarzkammer anzuordnen, und zwar derart, daß der Wafer über eine radiative und konvektive Energiekopplung zwischen Platte und Wafer erhitzt wird statt direkt über die Lampen erhitzt zu werden. Der Vorteil liegt darin, daß die lichtabsorbierende Platte thermisch stabil ist und eine konstante Emissivität beibehält, wodurch eine genaue Temperatursteuerung des Halbleiterwafers möglich wird, auch dann wenn die Emissivität der Halbleiterscheibe variiert wird. Zu Einzelheiten hinsichtlich der Verwendung einer lichtabsorbierenden Platte wird auf die DE 44 37 361 verwiesen, um Wiederholungen zu vermeiden.

20

Bei dem oben beschriebenen Prozeß der selektiven Seitenwandoxidation ergibt sich jedoch das Problem, dass wolframhaltige Verbindungen, insbesondere Wolframoxid von dem Halbleiterwafer abdampfen können. Derartiges Abdampfen des Wolframoxids oder eines Metalloxids oder Metallhydroxid schlägt sich auf der Quarzkammer nieder, wird dort zu Wolfram bzw. zu Metall reduziert und beeinflusst durch teilweise Abschattung der von den Lampen ausgehender Strahlung die Temperaturverteilung über den Wafer und/oder über die lichtabsorbierende Platte und somit über den Wafer hinweg. Bei mehreren aufeinanderfolgenden Prozessen kann es aufgrund immer stärker wer-

30

dender Abschattungsprozesse zu erheblichen Veränderungen der Prozeßparameter, wie z.B. der Prozeßtemperatur bzw. Wafertemperatur kommen.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum thermischen Behandeln von Halbleiterwafern zu schaffen, bei der bzw. bei dem im Wesentlichen gleichbleibende Prozeßbedingungen bei einer selektiven Oxidation einer zu oxidierenden Siliziumschicht und einer nicht zu oxidierenden Metallschicht, insbesondere einer Wolframschicht ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei einer Vorrichtung zum thermischen Behandeln von Halbleiterwafern mit wenigstens einer zu oxidierenden Siliziumschicht dadurch gelöst, daß wenigstens eine Strahlungsquelle, eine das Substrat aufnehmende Behandlungskammer mit wenigstens einem benachbart zu den Strahlungsquellen liegenden Wandteil, der für die Strahlung der Strahlungsquelle im Wesentlichen durchsichtig ist, und wenigstens einer Abdeckplatte zwischen dem Substrat und dem benachbart zu den Strahlungsquellen liegenden durchsichtigen Wandteil der Behandlungskammer vorgesehen ist, wobei die Abdeckplatte so bemessen ist, daß sie den durchsichtigen Wandteil der Behandlungskammer vollständig gegenüber dem Substrat abdeckt, um zu verhindern, daß von dem Substrat sich abscheidendes bzw. abdampfendes Material, welches ein Metall, ein Metalloxid oder ein Metallhydroxid umfaßt, wie z.B. Wolfram, Wolframoxid oder Wolframhydroxid, auf den durchsichtigen Wandteil der Behandlungskammer gelangt.

Vom Halbleiterwafer abdampfendes Material, welches Metalle wie z.B. Wolfram umfassen kann, sammelt sich an der Abdeckplatte und verhindert daher eine Ansammlung an dem durchsichtigen Wandteil der Behandlungskammer, wodurch sich eine Verschlechterung der Prozeßverhältnisse über mehrere Prozeßzyklen hinweg verhindern läßt.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Abdeckplatte für die Strahlung der Strahlungsquelle im Wesentlichen un-

durchsichtig, so dass sich auf die Abdeckplatte niederschlagendes Material wie z.B. Wolfram, Wolframoxid oder Wolframhydroxid aufgrund der optischen Undurchsichtigkeit der Platte keinen Einfluß auf die Temperaturverteilung des Wafers besitzt. Bei undurchsichtigen Abdeckplatten ergibt sich keine direkte  
5 Heizung der Wafer über die Strahlungsquelle sondern indirekt über die Abdeckplatte.

Um eine leichte Entnahme der Abdeckplatte beispielsweise für Reinigungszwecke zu ermöglichen, liegt die Abdeckplatte vorzugsweise auf entsprechenden Halteelementen in der Behandlungskammer frei auf. Dies ist insbesondere bei durchsichtigen Abdeckplatten von Vorteil, da diese aufgrund von  
10 sich daran ansammelnden Ablagerungen durch das vom Halbleiterwafer abgelöste Material häufig gereinigt werden müssen, um gleichbleibende Prozeßbedingungen beizubehalten. Aber auch bei undurchsichtigen Abdeckplatten kann eine regelmäßige Reinigung derselben z.B. aufgrund des sich daran  
15 ansammelnden Wolframs von Vorteil sein, um z.B. eine etwaige Kontamination der Prozeßkammer zu minimieren, und eine reproduzierbare Prozessierung der Halbleiterwafer zu garantieren.

20 Vorzugsweise ist eine Handhabungseinrichtung zum automatischen Entnehmen und Einsetzen der Abdeckplatte aus der bzw. in die Behandlungskammer vorgesehen, um beispielsweise einen automatischen Plattenwechsel zwischen aufeinanderfolgenden Behandlungsprozessen zu ermöglichen, und zwar ohne aufeinanderfolgende Behandlungsprozesse dadurch erheblich zu  
25 verzögern. Dabei kontaktiert die Handhabungsvorrichtung die Abdeckplatte vorzugsweise ausschließlich auf einer vom Substrat wegweisenden Oberfläche, um eine Verunreinigung der Handhabungsvorrichtung mit vom Halbleiterwafer abgelöstem Material wie z.B. mit Wolfram, Wolfram- oder Metalloxid oder Wolfram- oder Metallhydroxid zu vermeiden. Dies ist insbesondere von  
30 Vorteil, wenn die Handhabungsvorrichtung auch zum Be- und Entladen von Substraten eingesetzt ist.

Vorteilhafterweise ist je wenigstens eine Abdeckplatte ober- und unterhalb des Substrats, d.h. auf beiden Seiten des Substrats vorgesehen, um abdampfendes Material wie z.B. Wolfram möglichst vollständig aufzunehmen.

- 5 Für eine geeignete Einstellung der Prozeßparameter sind vorzugsweise ober- und unterhalb des Substrats unterschiedliche Abdeckplatten vorgesehen.

Vorzugsweise ist die zum Substrat weisende Oberfläche der Abdeckplatte beschichtet, wobei die Beschichtung einerseits eine gute Anhaftung des vom Halbleiterwafer abgelösten Materials wie z.B. des Wolframs und seiner Verbindungen ermöglichen kann und andererseits beispielsweise aus einem leicht zu reinigenden Material besteht.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist eine lichtabsorbierende Platte zwischen der Abdeckplatte und dem durchsichtigen Wandteil der Behandlungskammer vorgesehen, die eine gute Lichtabsorption und somit eine indirekte Heizung des Wafers ermöglicht. Dabei kann die lichtabsorbierende Platte eine kleinere, im Wesentlichen an die Geometrie des Halbleiterwafers angepaßte Form besitzen, da die lichtabsorbierende Platte nicht zum Abfangen von abdampfendem bzw. vom Wafer ablösendem Material wie z.B. Wolfram dient. Bei einer Ausführungsform der Erfindung besteht die Abdeckplatte aus Glas, insbesondere Quarzglas, das einerseits kostengünstig herzustellen ist und andererseits leicht zu reinigen ist und sich ebenso leicht und kostengünstig beschichten läßt wie z.B. mit einer Siliziumnitrid-, einer Siliziumoxinitrid- oder einer Siliziumoxidschicht.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist eine Einrichtung zum Einleiten eines nicht wäßrigen, d.h. wasserfreien bzw. wasserdampffreien, wasserstoffhaltigen Prozeßgases in die Behandlungskammer vorgesehen, da ein derartiges Prozeßgas eine selektive Oxidation ermöglicht, insbesondere wenn zusätzlich während des Einleitens und/oder vor oder nach dem Einleiten des wasserfreien Prozeßgases ein Wasser enthaltendes Prozeßgas eingeleitet wird.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe wird auch durch ein Verfahren zum thermischen Behandeln von Halbleiterwafern mit wenigstens einer zu oxidierenden Halbleiterschicht, vorzugsweise einer Siliziumschicht und einer nicht zu oxidierenden Metallschicht, z.B. einer Wolframschicht gelöst, indem der Halbleiterwafer in einer Behandlungskammer mit wenigstens einem benachbart zu Strahlungsquellen liegenden Wandteil, der für die Strahlung der Strahlungsquelle im Wesentlichen durchsichtig ist, aufgenommen wird, und der Wafer erhitzt wird, wobei von dem Substrat abgeschiedenes bzw. abdampfendes Material ein Metall, ein Metalloxid oder ein Metallhydroxid umfaßt und das Material an wenigstens einer Abdeckplatte zwischen dem Wafer und dem durchsichtigen Wandteil der Behandlungskammer abgeschieden bzw. adsorbiert wird, um zu verhindern, dass es auf den durchsichtigen Wandteil der Behandlungskammer gelangt.

Bei diesem Verfahren ergeben sich die schon oben bezüglich der Vorrichtung genannten Vorteile.

Vorzugsweise wird während der thermischen Behandlung ein nichtwässriges, wasserstoffhaltiges Prozeßgas in die Behandlungskammer eingeleitet, um eine selektive Oxidation zu ermöglichen.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Abdeckplatte zwischen aufeinanderfolgenden Behandlungsvorgängen aus der Behandlungskammer entnommen und gereinigt.

Allgemein läßt sich das obige erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung einsetzen bei:

Verfahren zur thermischen Behandlung von Halbleitersubstraten mit wenigstens einer Struktur S in einer Prozeßkammer mittels wenigstens eines thermischen Behandlungszyklusses, wobei die Struktur S wenigstens zwei unterschiedliche Materialien A, B aufweist, und wenigstens ein erstes Material A mit einer ersten Komponente X eines Pro-

zeßgases einen ersten Stoff a bilden kann, der durch eine erste Gleichgewichtsreaktion  $A + X \rightleftharpoons a + a'$  beschrieben ist, und das zweite Material B mit einer zweiten Komponente Y des Prozeßgases einen zweiten Stoff b bilden kann, der durch eine zweite Gleichgewichtsreaktion  $B + Y \rightleftharpoons b + b'$  beschrieben ist, wobei a' und b' optionale Reaktanden sind, und wobei während der thermischen Behandlung für wenigstens ein Zeitintervall wenigstens eine Konzentration einer Komponente X, Y des Prozeßgases und wenigstens ein weiterer Prozeßparameter so gewählt werden, daß das Gleichgewicht der ersten Gleichgewichtsreaktion zum ersten Material A und das Gleichgewicht der zweiten Gleichgewichtsreaktion zum zweiten Stoff b hin verschoben sind.

Die Halbleitersubstrate sind vorzugsweise Halbleiterwafer aus Silizium oder Silizium enthaltende Materialien welche z.B. Strukturen in Form von nebeneinander angeordneten mehrschichtigen im Wesentlichen planaren Elementen umfassen, wobei die unterschiedlichen Materialien A und B in verschiedenen Schichten der Elemente sein können. Solche mehrschichtigen planaren Elemente werden z.B. durch Gate-Stack-Strukturen gebildet wie sie oben beschrieben wurden, bei denen z.B. das Gate durch Wolfram gebildet wird.

Die Prozeßkammer ist vorzugsweise die Prozeßkammer einer Schnellheizanlage (RTP-Anlage), kann aber auch eine Kammer einer anderen Anlage zur thermischen Behandlung von Halbleitersubstraten sein.

25

Unter einem thermischen Behandlungszyklus soll eine thermisches Prozessieren des Halbleitersubstrates verstanden werden, so daß das Halbleitersubstrat einem zeitlich sich variierenden Temperaturverlauf unterworfen wird, dessen Temperatur-Zeit-Kurve wenigstens einen Temperaturwert aufweist, der höher ist als die Anfangs- und Endtemperatur des Behandlungszyklusses. Eine thermische Behandlung des Halbleitersubstrates kann sich auf mehrerer hintereinander folgende Behandlungszyklen erstrecken.

30

Bei den eingangs genannten Gate-Strukturen ist das erste Material A z.B. Wolfram und das zweite Material B, z.B. Silizium bzw. Polysilizium, wie dies in der auf die Anmelder zurückgehenden Anmeldung DE 101 205 23 näher beschrieben ist. Der erste Stoff a ist eine etwaige auftretende Wolframoxidver-  
5 bindung wobei es sich insbesondere auch um Hydroxide handeln kann, oder ein Wolframoxid. Der zweite Stoff b ist eine Siliziumoxidverbindung bzw. Siliziumoxid. Beim selektiven Oxidationsprozeß wird als erste und zweite Komponente X, Y des Prozeßgases ein Gemisch aus Wasserdampf und Wasserstoff gewählt, so daß das Wolfram A nicht oder nur in geringem Umfang oxidiert bzw. etwaiges Wolframoxid oder Wolframhydroxid zu Wolfram reduziert  
10 wird, d.h. das Gleichgewicht der ersten Gleichgewichtsreaktion ist zum ersten Material A, d.h. zum Wolfram hin verschoben. Das zweite Material B, im speziellen Fall Polysilizium, dagegen reagiert mit dem speziellen Prozeßgas aus Wasserstoff und Wasserdampf zu Siliziumoxid (dem zweiten Stoff b), so daß  
15 das Gleichgewicht der zweiten Gleichgewichtsreaktion zu dem zweiten Stoff b, dem Siliziumoxid hin verschoben ist.

Das erste Material A der Struktur S kann z.B. wie oben beschrieben ein Metall umfassen wie z.B. Molybdän, ein Metalloxid, Metallnitrid oder ein Metallsilizid  
20 bzw. ein Metallhydroxid, welches durch wenigstens eine Komponente X des Prozeßgases z.B. oxidiert oder weiter oxidiert wird, oder sich derart chemisch verändert, daß sich eine flüchtige erste Substanz a bilden kann (wie dies z.B. bei einigen Metallhydroxidbildungen der Fall ist, z.B. bei Wolframhydroxid), welche die Prozeßkammer verunreinigt. Derartige Verunreinigungen gilt es  
25 durch apparative und/oder verfahrenstechnische Maßnahmen zu minimieren, um solche Prozesse der Massenproduktion zugänglich zu machen.

Das zweite Material B der Struktur S kann einen Halbleiter wie z.B. Si, ein Halbleiteroxid wie z.B. SiO und/oder SiO<sub>2</sub>, ein Halbleiternitrid wie Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, ein  
30 Halbleiteroxinitrid oder ein Silizid, ein Glas wie z.B. eine BPSG-Schicht oder Kohlenstoff enthaltendes Material umfassen, welches sich durch die thermische Behandlung in eine gewünschte chemische Verbindung b (den zweiten Stoff) umwandelt, oder welche bereits vor der thermischen Behandlung in ei-



ner solchen Verbindung b (dem zweiten Stoff) vorliegt, wobei während der thermischen Behandlung das Gleichgewicht der zweiten Gleichgewichtsreaktion zum zweiten Stoff b hin verschoben ist.

- 5 Allgemein soll unter dem zweiten Stoff b auch eine Änderung der physikalischen Eigenschaften des zweiten Materials B verstanden werden, wie dies z.B. der Fall ist, wenn BPSG-Schichten einer thermischen Behandlung unterworfen werden, und diese dann durch Änderung der Viskosität sich fließend gleichmäßig über das Halbleitersubstrat verteilen.

10

- In Fig. 7 ist die Konzentration (oder der Druck bzw. Partialdruck) der Komponenten X, Y bzw. deren Verhältnis gegen einen Prozeßparameter, vorzugsweise die Prozeßtemperatur bzw. die Temperatur des Halbleitersubstrats schematisch dargestellt. Für die beiden Gleichgewichtsreaktionen ergeben sich vier Bereiche I bis IV, in denen das Gleichgewicht der entsprechenden Reaktion jeweils zu einer Seite hin, d.h. zur Seite der entsprechenden Produkte hin verschoben ist. Die Linien 1 und 2 zeigen den Parameterbereich auf, für den die Reaktionsraten  $k_1$ ,  $l_1$  für die Hin- und die Reaktionsraten  $k_2$ ,  $l_2$  für die Rückreaktion zu einer Gleichgewichtsbedingung führen, so daß sich die Konzentration jedes Reaktanden zeitlich nicht mehr verändert, weshalb diese Linien durch die Gleichgewichtskonstanten (die im allgemeinen temperaturabhängig sind) der Reaktionen beschrieben werden. Ferner sei erwähnt, daß durch die Reaktion auch der Typ des Reaktionsgeschwindigkeitsgesetzes definiert wird, welches z.B. von nullter bis n-ter Ordnung sein kann.

20

- 25 Die Kurve 3 in Fig. 7 zeigt schematisch einen Konzentrations-Temperatur-Verlauf welcher z.B. ähnlich ist wie der in der auf die Anmelder zurückgehenden deutschen Patentanmeldung DE 101 205 23 beschriebene Verlauf für den Fall der selektive Seitenwandoxidation einer Wolfram-Gate-Stack-Struktur
- 30 Dieser Konzentrations-Temperatur-Verlauf für ein Wasserstoff/Wasserdampf-Gemisch hat den Vorteil, daß das Abscheiden von Wolframoxiden und Wolframhydroxiden derart reduziert wird, daß eine Verunreinigung der Prozeßkammer erst nach einigen tausend Halbleitersubstraten merklich auftritt,

und damit der Prozeß insgesamt für eine Massenproduktion geeignet ist. Im Punkt 10 der Kurve 3 wird beispielsweise reiner Wasserstoff mit 0% Wasserdampf in die Prozeßkammer eingeleitet und das Halbleitersubstrat auf eine Temperatur von z.B. 800°C erwärmt. Danach wird die Konzentration von Wasserdampf in Wasserstoff auf ca. 10% erhöht, während die Temperatur für eine gewisse Zeit, z.B. 10s bis 30s konstant gehalten wird, wodurch im Phasendiagramm der Punkt 12 der Kurve 3 erreicht wird. Schließlich wird die Temperatur weiter erhöht, z.B. bis etwa 1050°C, wobei die Wasserdampf/Wasserstoffkonzentration konstant gehalten wird. Dies ist durch Punkt 11 in Kurve 3 angedeutet. Nach einer gewissen Verweilzeit von ca. 10s bis 60s in Punkt 11 wird die Temperatur reduziert, wobei vorzugsweise das Abkühlen in reinem Wasserstoff und bei niederen Temperaturen (z.B. unter 800°C) dann in Stickstoff erfolgt, dies ist durch die Kurvenabschnitte 11-13 und 13-14 schematisch wiedergegeben. Während der Aufheizphase des Substrates, d.h. während des Kurvenzuges 10-12-11 der Kurve 3. wird durch die Wahl der Prozeßführung bezüglich Prozeßgaszusammensetzung und Temperatur des Halbleitersubstrates sichergestellt, daß der Prozeß in Metall-Reduktionsbereich II und im Silizium- bzw. Halbleiteroxidationsbereich III verläuft, so daß eine selektive Oxidation des Halbleiters aber keine Oxidation des Metalles erfolgt, dieses aber bei etwaigem Vorhandensein einer Metalloxidschicht bzw. Metallhydroxidschicht reduziert wird, um nach dem Prozeß das Metall auch an seiner Oberfläche als reines Metall vorliegen zu haben. Beim Abkühlen, wird bevorzugt die oxidierende Komponente (z.B. der Wasserdampf) aus dem Prozeßgas entfernt und die Abkühlung erfolgt z.B. in reinem Wasserstoff, wobei entgegen der Darstellung in Fig. 7 in der Regel die Reduktionszone IV des Halbleiters nicht durchlaufen wird, bzw. nur sehr kurzfristig durchlaufen wird, so daß eine etwaige Reduktion des Halbleiteroxids (zweiter Stoff b) sich nicht schädlich oder nachteilig auf die Struktur S auswirkt.

Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte bzw. alternative Prozeßführung zu der in Fig. 7 dargestellten Prozeßführung anzugeben, die es ebenfalls erlaubt in einer Massenproduktion eingesetzt zu werden.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß wenigstens eine Konzentration und/oder ein Partialdruck bzw. Druck wenigstens einer Komponenten X, Y des Prozeßgases stetig als Funktion des weiteren Prozeßparameters, z.B. der Prozeßtemperatur oder der Prozeßzeit verändert wird.

Dies wird bevorzugt dadurch erreicht, daß wenigstens ein Gasflußmesser abhängig von dem weiteren Prozeßparameter geregelt oder der Gasflußmesser gesteuert wird.

Durch die Steuerung oder Regelung des Gasflußmessers kann eine nahezu beliebige Prozeßkurve, wie sie z.B. in dem in Fig. 8 dargestellten Phasendiagramm dargestellt ist, durchlaufen werden. Die Prozeßkurve kann dabei eine geschlossene oder eine „offene“ Kurve sein, d.h. ein Prozeß, bei dem Anfangs- und Endpunkt des Prozesses im dargestellten Parameterfeld gleich sind, oder bei einer „offenen“ Kurve, bei dem Anfangs- und Endpunkt verschieden sind.

Alternativ oder zusätzlich zur Regelung oder Steuerung wenigstens eines Gasflußmessers kann mittels einer Pumpvorrichtung der Gesamtdruck oder ein Partialdruck innerhalb der Prozeßkammer eingestellt werden.

Durch die Regelung bzw. Steuerung wenigstens eines Gasflußmessers und/oder des Drucks innerhalb der Prozeßkammer ist eine aktive Kontrolle des Prozeßverlaufs möglich.

Alternativ oder zusätzlich kann auch eine „passive“ Kontrolle des Prozeßverlaufs erfolgen, indem in ein mit einem ersten Prozeßgas gefülltes Volumen (z.B. Kammervolumen) ein zweites Prozeßgas mit fest definierter Zusammensetzung eingeleitet wird. Durch das Mischen bzw. Austauschen des ersten und zweiten Prozeßgases wird in gewisser Weise ebenfalls eine steige Änderung wenigstens einer Komponenten des Prozeßgases erzielt. Allerdings sind

diesem passiven Verfahren sehr enge Grenzen bezüglich der Anwendbarkeit gesetzt.

Die Grenzen der Anwendbarkeit des passiven Verfahrens der Kontrolle des Prozeßverlaufs können durch eine zusätzliche, gegebenenfalls bezüglich des Volumens variierbare Kammer erweitert werden, wobei diese zusätzliche Kammer auch als Mischkammer dienen kann, um die Komponenten des Prozeßgases vor Eintritt in die Prozeßkammer und nicht erst in der Prozeßkammer selbst zu mischen.

In Figur 8 ist mittels der Kurve 10-11-12-13-10 schematisch eine geschlossene Prozeßkurve dargestellt, welche einen von möglichen alternativen Prozessen zu dem in Fig. 7 in Kurve 3 dargestellten Prozeß der selektiven Wolfram-Gate-Stack-Oxidation darstellt. Durch eine aktive Steuerung oder Regelung des Wasserdampf/Wasserstoff-Verhältnisses als Funktion der Prozeßtemperatur (Halbleitertemperatur) ist es möglich die Wasserkonzentration von z.B. ursprünglich 0% im Punkt 10 auf z.B. 5% bis 50% im Punkt 11 ansteigen zu lassen. Dabei ist es bei der selektiven Wolfram-Gate-Stack-Oxidation sinnvoll den Wasserdampfanteil zunächst gering zu halten, so daß dieser im Temperaturbereich von Raumtemperatur bis zu etwa 700°C im wesentlichen 5% nicht übersteigt, vorzugsweise 1% nicht übersteigt. Durch die langsame Zunahme der Wasserkonzentration im Prozeßgas wird sichergestellt, daß ein etwaiges vorhandenes Metalloxid z.B. Wolframoxid oder Metallhydroxid z.B. Wolframhydroxid mittels des als Majoritätskomponente vorhanden Wasserstoffs reduziert werden kann, da der Prozeß vollständig im Metallreduktionsbereich II verläuft. Nach der Reduktion etwaiger Verbindungen a wie z.B. die erwähnten Metalloxide oder Metallhydroxide wird die Temperatur weiter von Punkt 11 bis Punkt 12 erhöht, wobei die Konzentration des Wasserdampfes so gewählt wird, daß der Prozeß ebenfalls in der Metallreduktionszone II verläuft, jedoch so daß eine maximale Oxidation des Halbleiters bei möglichst hoher Prozeßtemperatur erfolgt, d.h. daß die Prozeßkurve im Phasendiagramm also in der Nähe der maximalen Temperatur möglichst nahe an der Gleichgewichtskurve 1 zwischen z.B. der Metalloxydationszone I und Metallreduktionszone II ver-

läuft. Dies garantiert z.B. eine möglichst gute Oxidqualität der gebildeten Halbleiteroxidschicht. Für das Abkühlen des Halbleitersubstrats kann die in Fig. 7 dargestellte Kurve gewählt werden, bei der der Wasserdampfgehalt möglichst rasch auf 0% eingestellt wird, z.B. mittels der oben erwähnten passiven Kontrolle der Gaszusammensetzung. Alternativ oder zusätzlich kann  
5 mittels einer aktiven Kontrolle der Gaszusammensetzung eine Reduktion der Wasserdampfkonzentration und damit eine Zunahme der Wasserstoffkonzentration als Funktion der abnehmenden Temperatur auf dem Kurvenabschnitt 12-13 erfolgen, so daß das Oxidwachstum bzw. die Bildung des zweiten Stoffes b reduziert wird. Dies hat sich häufig als vorteilhaft erwiesen, da die Quali-  
10 tät des zweiten Stoffes b, z.B. eines Halbleiteroxids wie  $\text{SiO}_2$  mit abnehmender Temperatur ebenfalls abnimmt, und deshalb ein reduziertes Bilden eines solchen erwünscht wird. Dies wird durch die sich stetig reduzierende Konzentration z.B. des Wasserdampfes erreicht. Ab dem Punkt 13 kann die Konzentration der Prozeßgaskomponenten so gesteuert oder geregelt werden, daß  
15 der Halbleiterreduktionsbereich bzw. der Bereich IV nicht erreicht wird.

In der in Fig. 8 dargestellten Kurve 10-11-12-13-10 kann die Richtung wie die Kurve durchlaufen wird ebenfalls gewählt werden. Oben wurde ein Durchlau-  
20 fen der Prozeßkurve im Uhrzeigersinn beschrieben, d.h. daß die Konzentration wenigstens der dominanten reaktiven Prozeßgaskomponenten bei zunehmender Temperatur größer ist als diese Konzentration bei abnehmender Temperatur. Abhängig von der Anwendung kann aber auch ein Durchlaufen einer Prozeßkurve entgegen des Uhrzeigersinns erfolgen, d.h. daß die Kon-  
25 zentration der dominanten reaktiven Prozeßgaskomponente bei zunehmender Temperatur kleiner ist als bei abnehmender Temperatur. Dies kann z.B. bei BPSG-Reflow-Prozessen vorteilhaft sein, wobei die reaktive Prozeßgaskomponente hier Wasserstoff und/oder Wasserdampf ist.

30 Wie oben beschrieben kann die Prozeßkurve geschlossen oder offen sein, sie kann aber auch neben streng monoton zunehmenden und streng monoton abnehmenden Bereichen nur monotone bzw. streng monotone Bereiche umfassen oder aus einem solchen Bereich bestehen, wie z.B. einer Linie.

Die Prozeßkurven wie sie in den Figuren 7 und 8 schematisch dargestellt wurde repräsentiert bei einmaligem Durchlauf einen thermischen Behandlungszyklus. Die Prozeßkurven können während einer thermischen Behandlung des Halbleitersubstrats auch mehr als einmal bis hin zum mehrmaligen Durchlauf durchlaufen werden.

Bevorzugt wird das Zeitintervall in dem wenigstens eine Konzentration der Komponenten X, Y des Prozeßgases und wenigstens der weitere Prozeßparameter so gewählt werden, daß das Gleichgewicht der ersten Gleichgewichtsreaktion zum ersten Material A und das Gleichgewicht der zweiten Gleichgewichtsreaktion zum zweiten Stoff b hin verschoben sind, innerhalb eines thermischen Behandlungszyklusses gewählt.

Das Zeitintervall kann sich aber auch über mehrere thermische Behandlungszyklen erstreckt. In diesem Falle kann die erste Gleichgewichtsreaktion im wesentlichen innerhalb eines thermischen Behandlungszyklusses und die zweite Gleichgewichtsreaktion im wesentlichen innerhalb eines anderen thermischen Behandlungszyklusses stattfinden.

Vorzugsweise ist der weitere Prozeßparameter die Prozeßtemperatur und/oder eine Temperatur eines Materials A, B und/oder eines Stoffes a, b der Struktur S. Im Falle der oben erwähnten Wolfram-Gate-Stack-Struktur wird bevorzugt die Temperatur des Halbleitersubstrats gewählt.

Der weitere Prozeßparameter kann auch eine weitere Gaskonzentration einer Komponente des Prozeßgases, der Druck des Prozeßgases, ein Partialdruck einer Komponente eines Prozeßgases, ein Magnetfeld vorgegebener Stärke und/oder ein UV-Licht-Anteil mit dem das Halbleitersubstrat beaufschlagt wird oder eine Kombination der vorgenannten Parameter umfassen.

Die Strukturen S weisen vorzugsweise horizontale Schichten mit wenigstem einem Material A, B auf, sie können aber auch vertikale Schichten mit wenig-

tem einem Material A, B aufweisen oder eine Kombination von horizontalen und vertikalen Schichten der Materialien A, B sein.

5 Ferner können die Materialien A, B durch wenigstens ein von A und B verschiedenes Material C getrennt sind.

Bei einer chemischen Veränderung des zweiten Materials B kann sich der zweite Stoff b am zweiten Material B ausbilden, vorzugsweise an der Oberfläche des zweiten Materials B, wie dies z.B. bei einer Oxidation oder Nitridation  
10 von Silizium der Fall ist.

Das Halbleitersubstrat ist vorzugsweise ein Siliziumwafer, eine kristallin oder amorph gewachsene oder abgeschiedene Halbleiterschicht, ein Substrat oder eine Schicht aus einem IV-IV-Halbleiter, einem II-VI-Halbleiter oder einem III-V-Halbleiter.  
15

Wie bereits bei der Wolfram-Gate-Stack-Struktur erwähnt, umfaßt das erste Material A vorzugsweise ein Metall und das zweite Material einen Halbleiter B. In diesem Fall kann das Metall des ersten Materials A von einer Metalloxid- oder Metallnitridschicht, Metalloxinitridschicht oder einer Metallhydroxid-  
20 schicht wenigstens teilweise bedeckt sein, die den ersten Stoff a umfaßt oder bildet und z.B. mittels der ersten Gleichgewichtsreaktion bildbar ist. Der Halbleiter des zweiten Materials B kann von einer Oxid-, Nitrid- oder Oxynitridschicht wenigstens teilweise bedeckt sein, die den zweiten Stoff b umfaßt oder bildet und z.B. mittels der zweiten Gleichgewichtsreaktion bildbar ist.  
25

Vorzugsweise ist die erste Komponente X und die zweite Komponente Y gleich oder umfassen wenigstens einen gleichen Stoff, wie z.B. ein Wasserdampf-Wasserstoff-Gemisch.  
30

Ebenso können die optionalen Reaktanden a', b' gleich sein oder wenigstens einen gleichen Stoff umfassen.

Beispielsweise kann die erste Komponente X und die zweite Komponente Y Wasser, und die Reaktanden a', b' Wasserstoff umfassen, bzw. die erste und/oder zweite Komponente X, Y kann ein Gemisch aus Wasser und Wasserstoff umfassen. Ebenso kann die erste und/oder zweite Komponente X, Y ein Gemisch aus Wasser und Sauerstoff umfassen.

Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich auch so durchführen, daß die erste und/oder zweite Komponente X, Y ein erstes Gemisch aus Wasser und Wasserstoff oder ein zweites Gemisch aus Wasser und Sauerstoff umfaßt, und daß während der thermischen Behandlung die erste und/oder zweite Komponente X,Y vom ersten Gemisch in das zweite Gemisch oder umgekehrt übergeführt wird.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren kann ferner auch ein Prozeßgas eingesetzt werden, welches wenigstens während eines Teils der thermischen Behandlung Ammoniak  $\text{NH}_3$  umfaßt. Dies kann z.B. vorteilhaft bei der selektiven Seitenwandoxidation einer Wolfram-Gate-Stack-Struktur sein, wenn das Wolfram eine Wolframnitridschicht  $\text{WN}_x$  umfaßt, welche ein oxidieren des Wolframs und damit eine Verflüchtigung des Wolframoxids bzw. etwaigen Wolframhydroxids hemmt. Eine etwaige Kammerkontamination kann dadurch verringert werden. Das Wolframnitrid kann durch zusetzen von Ammoniak zum Prozeßgas oder durch einen ersten Prozeßschritt (d.h. eine erste Temperatur-Zeit-Kurve mittels der das Halbleitersubstrat beaufschlagt wird) in reinem Ammoniak gebildet werden, oder die Struktur kann bereits eine an der Metalloberfläche eine Metallnitridschicht aufweisen. Das im Prozeßgas enthaltene Ammoniak hält die schützende Metallnitridschicht zumindest für eine gewisse Zeit oder einer gewissen Temperatur aufrecht und verhindert so eine mögliche Metalloxidation. Für Wolfram zeigt sich im Temperaturbereich zwischen  $800^\circ\text{C}$  und  $1000^\circ\text{C}$  in reinem Ammoniak eine starke Wolframnitridbildung, welche bei etwa  $930^\circ\text{C}$  bis  $950^\circ\text{C}$  ein ausgeprägtes Maximum aufweist, wie dies Fig. 10 zeigt, in welcher der Schichtwiderstand der zur Schichtdicke der Wolframnitridschicht korreliert ist, als Funktion der Temperatur dargestellt ist. Dieses Maximum kann z.B. auch zur Temperaturkalibration von RTP-Anlagen ver-



wendet werden, insbesondere, um unterschiedliche Anlagen auf eine gemeinsame Temperaturskala abzustimmen. Dabei wird z.B. der Schichtwiderstand der Wolframnitridschicht als Funktion der Prozeßtemperatur ermittelt. Der Schichtwiderstand weist dann bei ca. 940°C ein sehr ausgeprägtes Maximum auf, welches als Kalibrationspunkt für die Temperaturskala dienen kann.

Die Metallnitridbildung ist allerdings stark von der weiteren Zusammensetzung des Prozeßgases abhängig, insbesondere vom etwaigen Vorhandensein oxidierender Komponenten wie Sauerstoff oder Wasserdampf. Bei Anwesenheit von ca. 15% Wasserdampf in Wasserstoff in ammoniakfreiem Prozeßgas wird beispielsweise ab ca. 700°C eine etwaige Wolframnitridschicht bei Prozeßzeiten von 60s deutlich abgebaut, so daß dann eine Oxidation des Metalls erfolgen kann, und damit das Risiko der Kammerverschmutzung steigt. Durch Zugabe von Ammoniak in das Prozeßgas kann die Zersetzungstemperatur des Metallnitrids erhöht werden. Damit ist es nun möglich Prozesse entsprechend den in Fig. 9 dargestellten Kurven 10-14-15-12-13-10 bzw. 10-11-16-15-12-13-10 oder ähnliche zu realisieren, welche sich dadurch auszeichnen, daß aufgrund einer Schutzschicht auf dem Material A, wie z.B. einer Metallnitridschicht, z.B. Wolframnitridschicht, welche mittels einer schutzschichtbildenden reaktiven Prozeßgaskomponenten gebildet und/oder aufrechterhalten wird, wenigstens ein Teil des Prozesses innerhalb der Zone I verlaufen kann, in welcher sich der erste Stoff a bildet. D.h. mittels der Aufrechterhaltung oder Bildung einer Schutzschicht kann kurzzeitig die Gleichgewichtslinie 1 der ersten Gleichgewichtsreaktion überschritten werden, wie dies für die beiden oben genannten Prozeßführungen exemplarisch zwischen den Punkten 14 und 15 sowie 16 und 15 dargestellt ist. Dies hat den Vorteil, daß z.B. die Oxidation des Halbleiters bei niedrigeren Temperaturen mit höherer Rate, d.h. z.B. mittels höherer Wasserkonzentration erfolgen kann, wodurch sich die thermische Belastung der Strukturen reduziert.

30

Das Prinzip der Anwendung einer Schutzschicht bzw. der in-situ-Bildung oder der Aufrechterhaltung einer Schutzschicht, welche ein Material A oder B der Struktur abdeckt und mittels einer reaktiven schutzschichtbildenden Prozeß-

gaskomponente in weiten Bereichen der thermischen Behandlung Schutz vor der Bildung des ersten Stoffes a im Bereich I und/oder der Reduktion vom zweiten Stoff b im Bereich IV des Phasendiagramms bietet, ermöglicht nicht nur eine Erweiterung der Prozeßführung in den Bereich I, der z.B. ein Metall-oxidationsbereich ist, sondern es wird auch eine Erweiterung in den Bereich IV der Phasendiagramms möglich, der z.B. der Reduktionsbereich des Halbleiters, besser des Halbleiteroxids ist.

Vorzugsweise umfaßt wenigstens eines der Materialien A, B oder der Stoffe a, b Wolfram, Molybdän, Platin, Iridium, Kupfer und/oder deren Oxide, Nitride und/oder Hydroxide, wie Wolframoxid, Wolframnitrid oder Wolframhydroxid.

Ferner wird die thermische Behandlung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorzugsweise in einer Prozeßkammer einer Schnellheizanlage durchgeführt wird.

Vorteilhaft kann, wie bereits erwähnt, die Prozeßkammer wenigstens eine Abdeckvorrichtung zwischen dem Halbleitersubstrat und wenigstens einer Prozeßkammerwand zur wenigstens teilweisen Abdeckung der Prozeßkammerwand umfassen.

Das Einbringen von Abdeckvorrichtungen hat ebenfalls den Vorteil, ähnlich dem der schutzschichtbildenden reaktiven Prozeßgaskomponente, daß wie in Fig. 9 schematisch angedeutet ist, die thermische Behandlung des Halbleitersubstrats wenigstens teilweise im Metalloxidationsbereich I und/oder im Halbleiterreduktionsbereich IV stattfinden kann, ohne daß die Prozeßkammer selbst unzulässig verunreinigt wird. etwaige Metalloxide oder Metallhydroxide werden durch die Abdeckvorrichtung aufgefangen. Diese können dann wie bereits erwähnt ausgetauscht und gereinigt werden.

30

Damit ist sowohl mittels der Abdeckplatten als auch mittels der schutzschichtbildenden reaktiven Prozeßgaskomponente eine Möglichkeit geschaffen, die thermische Prozessierung von strukturierten Halbleitersubstraten derart

durchzuführen, daß der Prozeßverlauf hinsichtlich Konzentration des Prozeßgases und eines weiteren Prozeßparameters (vorzugsweise der Substrattemperatur) wenigstens einmal eine durch eine Gleichgewichtsreaktion bestimmtes Phasengrenzlinie (1 oder 2 in Figuren 7 bis 9) schneidet, wobei in wenigstens einer Phase sich ein erster Stoff a bildet, wobei dieser flüchtig sein kann und bei Abwesenheit einer Abdeckvorrichtung wie z.B. der beschriebenen Abdeckplatte und/oder der Schutzschicht und/oder der schutzschichtbildenden reaktiven Prozeßgaskomponente zu etwaigen Kontaminationen der Prozeßkammer führen kann. Durch die aktive Regelung bzw. Steuerung wenigstens einer Komponenten des Prozeßgases eröffnet die vorliegende Erfindung ein Höchstmaß an Prozeßmöglichkeiten. Insbesondere erwarten die Anmelder zukünftig Anwendungen in den Bereichen der Transistorherstellung wie z.B. im oben dargestellten Wolfram-Gate-Stack-Prozeß, im Bereich der High-K- und Low-K-Anwendungen, im Bereich der Glas-Reflow-Prozesse mit selektiven Reaktionen oder im Bereich der Herstellung von Kondensatoren.

Die Vorrichtung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert; in der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht durch eine Schnellheizanlage für Halbleiterwafer gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 eine schematische Schnittansicht durch eine Schnellheizanlage für Halbleiterwafer gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 eine schematische Schnittansicht durch ein drittes Ausführungsbeispiel einer Schnellheizanlage gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 eine schematische Schnittansicht durch ein viertes Ausführungsbeispiel einer Schnellheizanlage für Halbleiterwafer gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 eine schematische Schnittansicht durch ein fünftes Ausführungsbeispiel einer Schnellheizanlage für Halbleiterwafer gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6 eine Schnittansicht von oben gemäß der Linie V-V in Fig. 5,

Fig. 7 ein Phasendiagramm mit einer schematischen Prozeßführung;

5 Fig. 8 eine Phasendiagramm mit einer schematischen Prozeßführung mittels aktiver Steuerung oder Regelung wenigstens einer reaktiven Komponente des Prozeßgases;

10 Fig. 9 eine Phasendiagramm mit einer schematischen Prozeßführung mittels aktiver Steuerung oder Regelung wenigstens einer reaktiven Komponente des Prozeßgases welches die Phasengrenzen schneidet;

15 Fig. 10 Schichtwiderstand einer Wolframnitridschicht als Funktion der Temperatur, wobei in reinem Ammoniak jeweils 60s eine 45nm dicke Wolframschicht auf Silizium prozessiert wurde.

Fig. 1 zeigt eine schematische Schnittansicht durch eine Schnellheizanlage 1 zum thermischen Behandeln von Halbleiterwafern 2 mit wenigstens einer zu oxidierenden Siliziumschicht und einer nicht zu oxidierenden Metallschicht, insbesondere einer Wolframschicht.

Die Schnellheizanlage 1 besitzt ein schematisch dargestelltes Gehäuse 4, das durch obere und untere Quarzwände 6, 7 in eine obere Lampenkammer 9, eine untere Lampenkammer 10 und eine Prozeßkammer 11 aufgeteilt ist. Das Gehäuse 4 weist eine nicht dargestellte und verschließbare Öffnung im Bereich der Prozeßkammer 11 auf, um das Be- und Entladen des Halbleiters 2 zu ermöglichen.

30 In der oberen Lampenkammer 9 ist eine Vielzahl von parallel zueinander angeordneten Heizlampen 13 angeordnet, die in bekannter Weise zum Erhitzen des Wafers 2 angesteuert werden können.

In entsprechender Weise ist in der unteren Lampenkammer 10 eine Vielzahl von parallel zueinander angeordneten Heizlampen 14 vorgesehen, die wiederum in bekannter Weise angesteuert werden können, um den Halbleiterwafer 2 zu erhitzen.

5

Im Bereich der Lampenkammern 9 und 10 besitzt das Gehäuse 4 nach innen weisende reflektierende Oberflächen, um von den Lampen 13, 14 ausgehende Strahlung zur Prozeßkammer 11 zu reflektieren.

- 10 Innerhalb der Prozeßkammer 11 ist eine erste Halteeinrichtung 16 für eine Abdeckplatte 18 vorgesehen. Die Abdeckplatte 18 ist aus einem für die Strahlung der Lampen 13 bzw. 14 undurchsichtigem Material und besitzt eine dem Wafer 2 entsprechende Umfangsform. Dabei ist die Abdeckplatte 18 jedoch so bemessen, dass sie einen größeren Durchmesser besitzt als der Wafer 2 und  
15 eine "Sichtverbindung" zwischen dem Wafer 2 und der Quarzwand 6 abdeckt.

- Die Halteeinrichtung 16 für die Abdeckplatte 18 besteht aus mehreren sich von der Quarzplatte 6 erstreckenden Auflageelementen 20. Die Auflageelemente 20 besitzen jeweils einen ersten Schenkel 22, der sich senkrecht von  
20 der oberen Quarzplatte 6 erstreckt. Am unteren freien Ende des Schenkels 22 ist ein sich senkrecht hierzu und zur Kammermitte hin erstreckender zweiter Schenkel 24 vorgesehen, an dessen freien Ende sich wiederum ein dritter Schenkel 26 nach oben erstreckt. Das freie Ende des Schenkels 26 bildet eine Auflage für die Abdeckplatte 18, die frei darauf aufliegt. Vorzugsweise sind  
25 drei der Halteelemente 20 für die Abdeckplatte 18 vorgesehen, um eine sichere Dreipunktauflage vorzusehen. Darüber hinaus sind die Halteelemente 20 derart angeordnet, dass ein einfaches Abheben der Abdeckplatte 18 und ein seitliches Herausbewegen aus der nicht dargestellten Öffnung des Gehäuses 4 ermöglicht wird.

30

Innerhalb des Prozeßbereichs 11 ist ferner eine zweite Halteeinrichtung 26 für eine zweite Abdeckplatte 28 vorgesehen. Die Halteeinrichtung 26 besteht aus drei sich senkrecht zur unteren Quarzplatte 7 erstreckenden Auflagestiften 30,

auf denen die Abdeckplatte 28 frei aufliegt. Für einen sicheren Halt der Platte 28 kann diese kleine Vertiefungen aufweisen, in die sich die Halteelemente 30 hinein erstrecken, wie beispielsweise eine konische Vertiefung in die sich eine konische Spitze der Halteelemente 30 erstrecken kann. Derartige komplementäre Vertiefungen können ebenfalls für die obere Abdeckplatte 18 vorgesehen sein.

Auf einer Oberseite der unteren Abdeckplatte 28 ist eine Vielzahl von Auflagegestiften 34, vorzugsweise drei, vorgesehen, die sich im Wesentlichen senkrecht zur Abdeckplatte 28 erstrecken und eine Auflage für den Wafer 2 bilden.

Die obere Abdeckplatte 18 und die untere Abdeckplatte 28 sind jeweils aus einem für die Strahlung der Lampen 13 bzw. 14 undurchsichtigen Material, so dass der sich dazwischen befindliche Wafer 2 nicht direkt durch die Strahlung der Lampen 13, 14 erhitzt wird, sondern indirekt über eine radiative und konvektive Energiekopplung zwischen dem Wafer 2 und den Abdeckplatten 18, 28, welche durch die jeweiligen Lampen 13 bzw. 14 aufgeheizt werden. Alternativ ist es jedoch auch möglich, die Abdeckplatten 18, 28 für die Strahlung der Lampen 13 bzw. 14 transparent auszubilden, um eine direkte Heizung des Wafers 2 durch die Lampen 13 bzw. 14 zu ermöglichen.

Nachfolgend wird die Behandlung eines Halbleiterwafers 2 in der erfindungsgemäßen Schnellheizanlage 1 unter Bezugnahme auf die Fig. 1 näher erläutert.

25

Zunächst wird ein Halbleiterwafer 2 mit einer zu oxidierenden Siliziumschicht und einer nicht zu oxidierenden Metallschicht, insbesondere einer Wolframschicht, in die Schnellheizanlage 1 geladen und auf den Auflagegestiften 34 abgelegt. Anschließend wird das Gehäuse 4 geschlossen und es wird zunächst bei einer niedrigen ersten Temperatur Stickstoff durch den Prozeßbereich 11 geleitet, um darin befindlichen Sauerstoff zu entfernen. Anschließend wird reines Wasserstoffgas in den Prozeßbereich eingeleitet, wobei die Tempera-

30

tur des Wafers 2 zunächst konstant gehalten wird und anschließend auf eine erhöhte Temperatur von beispielsweise 800° C erhöht wird.

Nach Erreichen der erhöhten Temperatur von beispielsweise 800° C wird eine  
5 Wasserstoff-/Wasser-Mischung in den Prozeßbereich eingeleitet, wobei beispielsweise eine Atmosphäre mit einem Wassergehalt von unter 20 Volumenprozent und insbesondere von 14 Volumenprozent eingestellt wird. Die Temperatur des Wafers wird zunächst konstant gehalten und anschließend auf eine noch weiter erhöhte Temperatur von beispielsweise 1050° C erhöht. Bei  
10 dieser erhöhten Temperatur kommt es zu einer Reaktion zwischen dem Wasserstoff-/Wasser-Gemisch und dem Wafer. Insbesondere kommt es zu einer Oxidation der freiliegenden Oberflächen der Siliziumschicht des Halbleiterwafers. Eine Oxidation der Metall- bzw. Wolframschicht kann durch Einstellung eines bestimmten Mischungsverhältnisses des Wasserstoff-/Wasser-  
15 Gemisches gesteuert werden. Um eine Oxidation des Metalls zu verhindern, muss das Mischungsverhältnis so eingestellt werden, dass eine Oxidationsreaktion der Mischung (durch den Sauerstoff im Wasser) sowie eine zugehörige Reduktionsreaktion (durch den Wasserstoff) im Gleichgewicht stehen bzw. die Reduktionsreaktion im leichten Übergewicht ist.. Dabei kommt es zwischen-  
20 zeitlich immer wieder zur Bildung eines Wolframoxids, das bei den Prozeßtemperaturen flüchtig ist und sich somit im Prozeßbereich verteilen kann, wo es anschließend durch den Wasserstoff zu metallischem Wolfram reduziert wird. Um zu verhindern, dass das flüchtige Wolframoxid sich auf den Prozeßkammerwänden und insbesondere den Quarzwänden 6, 7 ablagert, sind die  
25 obere und untere Abdeckplatte 18, 28 vorgesehen, die die Bewegungsfreiheit des flüchtigen Wolframoxids einschränken und Oberflächen zur Adsorption des Wolframoxids oder des metallischen Wolframs bieten. Von dem Wafer 2 abdampfendes Wolframoxid kann an den Abdeckplatten 18, 28 anhaften und es wird verhindert, dass es sich zu den Quarzplatten 6, 7 hin bewegt und diese gegebenenfalls derart verunreinigt, dass die Heizleistung durch die Lampen 13, 14 beeinträchtigt wird. Wenn sich das Wolframoxid auf den Abdeck-  
30 platten 18, 28 ablagert, wird es, wie erwähnt, durch den Wasserstoff zu Wolfram oxidiert und verbleibt an den Abdeckplatten 18, 28. Da diese für die

Strahlung der Lampen 13, 14 undurchsichtig sind, beeinträchtigen die Ablagerungen nicht die Heizleistung der Schnellheizanlage 1.

Nach der Behandlung mit dem Wasserstoff-/Wasser-Gemisch folgt eine erneute Behandlung mit reinem Wasserstoffgas, um eine vollständige Rückführung jeglichen Wolframoxids in metallisches Wolfram zu bewirken und die Temperatur innerhalb des Prozeßbereichs 1 wird abgesenkt. Anschließend wird der Prozeßbereich wiederum mit Stickstoff durchströmt.

- 10 Durch Einleiten einer nichtwässrigen wasserstoffhaltigen Substanz vor und nach der Behandlung der Wafer mit einer Wasserstoff-/Wasser-Mischung kann die Bildung des Wolframoxids und dessen Lösen vom Wafer reduziert werden. Durch die Abdeckplatten 18, 28 kann darüber hinaus verhindert werden, dass sich metallisches Wolfram oder Wolframoxid auf den Quarzplatten  
15 6, 7 niederschlägt.

- Anschließend wird der Wafer aus der Schnellheizanlage 1 entnommen und es kann ein neuer Wafer für eine entsprechende Behandlung eingesetzt werden. Nach einer bestimmten Anzahl von Waferbehandlungen können die Abdeckplatten 18, 28, die jeweils frei auf ihren Halteelementen aufliegen, ebenfalls aus dem Prozeßbereich entnommen werden, um diese zu reinigen und um darauf niedergeschlagenes Wolfram zu entfernen. Die Abdeckplatten 18, 28 können mit derselben Handhabungsvorrichtung wie der Wafer 2 entnommen werden, wobei die Handhabungsvorrichtung in diesem Fall vorzugsweise auf  
25 die vom Wafer 2 wegweisenden Oberflächen zugreift, um eine Kontamination der Handhabungsvorrichtung zu vermeiden. Alternativ kann die Handhabungsvorrichtung auch zwischen einer Handhabung der Abdeckplatten 18, 28 und einer Handhabung eines Wafers 2 gereinigt werden.

- 30 Obwohl die Abdeckplatten 18, 28 als für die Strahlung der Lampen undurchlässig beschrieben wurden, ist es auch möglich, durchsichtige Platten einzusetzen, wobei diese dann häufiger, gegebenenfalls nach jeder Waferbehandlung aus der Prozeßkammer entnommen und gereinigt werden müssen, um



eine Beeinflussung durch sich auf den Abdeckplatten 18, 28 niedergeschlagenes Metall zu verhindern. Beispielsweise können die untere Abdeckplatte und der Wafer als eine Einheit aus der Prozeßkammer entnommen werden. Wenn sich die obere Abdeckplatte auf der unteren Abdeckplatte abstützen würde, könnten beide Abdeckplatten mit dem dazwischen befindlichem Wafer als eine Einheit entnommen werden. Auch könnte eine Handhabungseinrichtung mit drei Auflage- oder Greifelementen zum gleichzeitigen Zugriff auf die Abdeckplatten und den Wafer vorgesehen sein.

10 Fig. 2 zeigt eine alternative Ausführungsform einer Schnellheizanlage 1 der vorliegenden Erfindung. Sofern dieselben oder ähnliche Bauteile vorhanden sind, werden dieselben Bezugszeichen wie in Fig. 1 verwendet.

Die Schnellheizanlage 1 gemäß Fig. 2 weist wiederum ein Gehäuse 4 auf, das im Inneren durch Quarzwände 6, 7 in obere und untere Lampenkammern 9, 10 und eine dazwischen liegende Prozeßkammer 11 aufgeteilt ist. Im Inneren der Prozeßkammer 11 ist wiederum eine erste Halteeinrichtung 16 zum Halten einer Abdeckplatte 18 vorgesehen, wobei die Halteeinrichtung 16 denselben Aufbau besitzt, wie bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1. Ferner ist auch eine zweite Halteeinrichtung 26 zum Halten einer zweiten, unteren Abdeckplatte 28 vorgesehen. Die Halteeinrichtung 26 gleicht wiederum der Halteeinrichtung gemäß Fig. 1. Wenn die Prozeßkammer 11 beladen ist, befindet sich ein Halbleiterwafer 2 zwischen den Abdeckplatten 18, 28, wie in Fig. 2 dargestellt ist. Die Abdeckplatten 18, 28 erstrecken sich wiederum parallel zu dem Wafer 2 und sind im Vergleich zu dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 mit einem geringeren Abstand bezüglich des Wafers 2 angeordnet. Hierdurch wird eine bessere Abschirmung von abdampfendem Metall oder Metalloxid gegenüber den Quarzwänden 6, 7 erreicht. Die Abdeckplatten 18, 28 sind bei dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel aus einem undurchsichtigen Material. Oberhalb und unterhalb der Abdeckplatten 18, 28 sind jedoch für die Strahlung der Lampen 13, 14 undurchsichtige lichttransformierende Platten 40, 41 vorgesehen, die über nicht näher dargestellte Haltevorrichtungen innerhalb der Prozeßkammer gehalten werden. Die lichttransformierenden Plat-

ten 40, 41 werden parallel zu den Abdeckplatten 18, 28 und dem dazwischen befindlichen Wafer 2 gehalten. Die lichttransformierenden Platten 40, 41 besitzen im Wesentlichen dieselben Umfangsabmessungen wie der Wafer 2, um von den Lampen 13, 14 stammende Strahlung im Wesentlichen nicht direkt auf den Wafer 2 fallen zu lassen. Statt direkt durch die Lampenstrahlung ge-  
5 heizt zu werden, erfolgt wiederum eine indirekte Heizung des Wafers 2 über die lichttransformierenden Platten 40, 41. Die lichttransformierenden Platten 40, 41 sind im Gegensatz zu den Abdeckplatten 18, 28 im Wesentlichen fest in der Prozeßkammer 11 angebracht.

- 10 Die Behandlung eines Halbleiterwafers in der Schnellheizanlage 1 gemäß Fig. 2 erfolgt im Wesentlichen in derselben Art und Weise, wie die Behandlung in der Schnellheizanlage 1 gemäß dem in Fig. 1 gezeigten ersten Ausführungsbeispiel.

15

Fig. 3 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform einer Schnellheizanlage 1, wobei in Fig. 3 wiederum dieselben Bezugszeichen wie in Fig. 1 verwendet werden, sofern dieselben oder ähnliche Elemente beschrieben werden.

- 20 Die Schnellheizanlage 1 gemäß Fig. 3 besitzt denselben Aufbau wie die Schnellheizanlage 1 gemäß Fig. 1, wobei jedoch zusätzlich um das Substrat 2 herum ein Kompensationsring 46 vorgesehen ist, um Randeffekte beim Erhitzen bzw. Abkühlen des Halbleiterwafers 2 zu kompensieren. Der Kompensationsring 46 kann einteilig sein oder aus mehreren Segmenten bestehen und  
25 kann ebenfalls zur Reinigung aus der Prozeßkammer 11 der Schnellheizanlage 1 entfernt werden. Der Kompensationsring 46 wird über eine nicht näher dargestellte Halteeinrichtung in der Ebene des Wafers 2 gehalten, wobei der Kompensationsring 46 aus der Ebene des Wafers 2 wenigstens teilweise herausbewegt werden kann, um ein Be- und Entladen des Wafers 2 zu erleichtern. Dies kann beispielsweise durch ein Schwenken des Kompensationsrings  
30 46 oder bestimmter Segmente davon erreicht werden.

Die Waferbehandlung in der Schnellheizanlage 1 gemäß Fig. 3 erfolgt auf dieselbe Art und Weise wie bei dem ersten in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel.

- 5 Fig. 4 zeigt eine weitere Ausführungsform einer Schnellheizanlage 1 für Halbleiterwafer 2. In Fig. 4 werden wiederum dieselben Bezugszeichen wie bei den vorhergehenden Ausführungsbeispielen verwendet, sofern dieselben oder äquivalente Bauteile verwendet werden.

10 Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4 entspricht im Wesentlichen dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3. Innerhalb einer Prozeßkammer 11 sind obere und untere Abdeckplatten 18, 28 vorgesehen, die über entsprechende Halteinrichtungen parallel zu einem in der Prozeßkammer 11 aufgenommenen Wafer 2 gehalten werden.

15

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4 ist die obere Abdeckplatte 18 aus einem für die Lampenstrahlung undurchsichtigen Material hergestellt, während die untere Abdeckplatte 28 aus einem für die Lampenstrahlung im Wesentlichen durchsichtigen Material, wie beispielsweise Quarz hergestellt ist.

- 20 Um eine direkte Heizung des Wafers 2 durch die unten liegenden Lampen 14 zu verhindern, ist zwischen der unteren Quarzwand 7 und der Abdeckplatte 28 eine lichtabsorbierende Platte 50 vorgesehen, die im Wesentlichen denselben Aufbau besitzt wie die lichtabsorbierende Platte 41. Die lichtabsorbierende Platte 50 wird über entsprechende Haltestifte 52 in der Prozeßkammer  
25 11 gehalten.

Die Behandlung des Halbleiterwafers 2 in der Schnellheizanlage 1 gemäß Fig. 4 erfolgt auf dieselbe Art und Weise wie die Behandlung in der Schnellheizanlage 1.

30

Fig. 5 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform der Erfindung, wobei die in Fig. 5 gezeigte Schnellheizanlage 1 im Wesentlichen denselben Aufbau besitzt, wie die Schnellheizanlage 1 gemäß Fig. 1. Der einzige Unterschied

liegt darin, dass der Halbleiterwafer 2 nicht auf Haltestiften 34 abgelegt wird, die sich von der unteren Abdeckplatte 28 erstrecken. Vielmehr ist für den Halbleiterwafer 2 eine separate Halteeinrichtung 56 vorgesehen, die mit dem Schenkel 22 der Halteeinrichtung 16 gekoppelt ist. Die Halteeinrichtung 56 besitzt einen ersten sich senkrecht zum Schenkel 22 der ersten Halteeinrichtung 16 erstreckenden Schenkel 58, einen sich senkrecht hierzu und zur Kammermitte erstreckenden Schenkel 61, sowie einen sich nach oben erstreckenden Schenkel 62, dessen freies Ende eine Auflagefläche für den Wafer 2 bildet. Der Vorteil dieser Halteeinrichtung 56 für den Wafer 2 liegt darin, dass die untere Abdeckplatte eine ebene Oberfläche ohne darauf angeordnete Halteelemente aufweist und daher leichter zu handhaben und zu reinigen ist.

Fig. 6 zeigt eine Schnittansicht durch die Schnellheizanlage 1 entlang der Linie V-V in Fig. 5. Wie in Fig. 6 zu erkennen ist, besitzt die Halteeinrichtung 56 drei Halteelemente, von denen in Fig. 6 jeweils die Schenkel 60 zu erkennen sind. Die Halteelemente sind aber derart angeordnet, dass der Wafer 2 nach Abheben von den Schenkeln 62 seitlich aus der Prozeßkammer 11 entnommen werden kann, wie durch den Pfeil A dargestellt ist. Die spezielle Halteeinrichtung 56 für den Wafer 2 ermöglicht somit einen freien Zugriff auf den Wafer 2 und erlaubt ein leichtes Be- und Entladen desselben. Diese Art der Anordnung der einzelnen Halteelemente ist auch für die Halteelemente der Halteeinrichtung 16 vorgesehen, um eine seitliche Entnahme der oberen Abdeckplatte 18 zu ermöglichen.

Die Behandlung des Wafers 2 in der Schnellheizanlage 1 gemäß Fig. 6 erfolgt auf dieselbe Art und Weise wie bei dem in Fig. 1 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel.

Obwohl die Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben wurde, ist sie nicht auf die konkret dargestellten Ausführungsbeispiele beschränkt. Beispielsweise können sich die Halteeinrichtungen 16, 26 und 56 für die Abdeckplatten 18, 28 bzw. den Wafer 2 statt von den jeweiligen oberen und unteren Quarzplatten 6, 7 auch von Seitenwänden der

Prozeßkammer 11 erstrecken. Darüber hinaus müssen sich die Quarzwände 6, 7 nicht über die komplette Breite der Prozeßkammer 11 erstrecken. Vielmehr können sie auch nur einen Teilbereich oberer und unterer Wände der Prozeßkammer 11 bilden. Um eine Reinigung der jeweiligen Abdeckplatten zu erleichtern, könnten die zum Substrat weisenden Oberflächen jeweils beschichtet sein, wobei die Beschichtung vorzugsweise aus einem leicht zu reinigenden Material besteht. Weitere vorzugsweise Ausführungsformen der Erfindung sind in den Patentansprüchen beschrieben. Die Merkmale der unterschiedlichen Ausführungsformen und Beispiele können, sofern sie kompatibel sind beliebig ausgetauscht und/oder miteinander kombiniert werden.

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum thermischen Behandeln von Halbleiterwafern mit wenigstens einer zu oxidierenden Siliziumschicht und einer nicht zu oxidierenden Metallschicht, vorzugsweise einer Wolframschicht, wobei die  
5 Vorrichtung folgendes aufweist:  
wenigstens eine Strahlungsquelle;  
eine das Substrat aufnehmende Behandlungskammer, mit wenigstens einem benachbart zu den Strahlungsquellen liegenden Wandteil, der für die Strahlung der Strahlungsquelle im wesentlichen durchsichtig ist; und  
10 wenigstens eine Abdeckplatte zwischen dem Substrat und dem benachbart zu den Strahlungsquellen liegenden durchsichtigen Wandteil der Behandlungskammer, wobei die Abdeckplatte so bemessen ist, dass sie den durchsichtigen Wandteil der Behandlungskammer vollständig gegenüber dem Substrat abdeckt, um zu verhindern, dass von dem Substrat sich abscheidendes bzw. abdampfendes Material, welches ein Metall, ein Metalloxid oder ein Metallhydroxid umfaßt, wie Wolfram, Wolframoxid oder Wolframhydroxid, auf den durchsichtigen  
15 Wandteil der Behandlungskammer gelangt.  
20
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abdeckplatte für die Strahlung der Strahlungsquelle im wesentlichen undurchsichtig ist.
- 25 3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Abdeckplatte frei auf entsprechenden Halteelementen in der Behandlungskammer aufliegt.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Handhabungseinrichtung zum automatischen entnehmen und einsetzen der Abdeckplatte aus der bzw. in die Behandlungskammer.  
30

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Handhabungsvorrichtung die Abdeckplatte ausschließlich auf einer vom Substrat weg weisenden Oberfläche kontaktiert.
- 5 6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Handhabungsvorrichtung für die Abdeckplatte auch zum Be- und Entladen von Substraten vorgesehen ist.
- 10 7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch je wenigstens eine Abdeckplatte ober- und unterhalb des Substrats.
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ober- und unterhalb des Substrats unterschiedliche  
15 Abdeckplatten vorgesehen sind.
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zum Substrat weisende Oberfläche der Abdeckplatte beschichtet ist.  
20
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung aus einem leicht zu reinigenden Material besteht.
- 25 11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine lichtabsorbierende Platte zwischen der Abdeckplatte und dem durchsichtigen Wandteil der Behandlungskammer.
12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abdeckplatte aus Glas, insbesondere Quarzglas  
30 besteht.
13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Einrichtung zum Einleiten eines

nichtwässrigen, wasserstoffhaltigen Prozeßgases in die Behandlungskammer vorgesehen ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, gekennzeichnet durch eine Steuereinheit zum Einleiten des nichtwässrigen wasserstoffhaltigen Prozeßgases vor und/oder nach dem Einleiten einer Wasserstoff-/Wasser-Mischung.
15. Verfahren zum thermischen Behandeln von Halbleiterwafern mit wenigstens einer zu oxidierenden Halbleiterschicht, vorzugsweise einer Siliziumschicht und einer nicht zu oxidierenden Metallschicht, z.B. einer Wolframschicht, wobei der Halbleiterwafer in einer Behandlungskammer mit wenigstens einer Strahlungsquelle und einem benachbart zur Strahlungsquelle liegenden Wandteil, der für die Strahlung der Strahlungsquelle im Wesentlichen durchsichtig ist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:
- Einleiten wenigstens eines Prozeßgases in die Behandlungskammer; Erhitzen des Wafers, wobei von dem Substrat sich abscheidendes bzw. abdampfendes Material ein Metall, Metallhydroxid oder Metalloxid umfaßt und das Material an wenigstens einer Abdeckplatte zwischen dem Wafer und dem durchsichtigen Wandteil der Behandlungskammer abgeschieden bzw. adsorbiert wird, um zu verhindern, dass es auf den durchsichtigen Wandteil der Behandlungskammer gelangt.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Abdeckplatte zwischen Substratbehandlungen aus der Behandlungskammer entnommen und gereinigt wird.
17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass während der thermischen Behandlung wenigstens ein nichtwässriges, wasserstoffhaltiges Prozeßgas in die Behandlungskammer eingeleitet wird.



18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das nicht-wässrige, wasserstoffhaltige Prozeßgas vor und/oder nach der Einleitung eines Gemisches aus Wasserstoff und Wasser in die Prozeßkammer eingeleitet wird.

5

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass der Wassergehalt der Wasserstoff-/Wasser-Mischung derart gesteuert wird, dass eine Oxidation des Metalls durch den im Wasser enthaltenen Sauerstoff und einer Reduktion des dabei entstehenden Metalloxids durch den Wasserstoff im Wesentlichen im Gleichgewicht gehalten wird.

10

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Wasseranteil in dem Gemisch unterhalb von 20 % und insbesondere bei ungefähr 14 % liegt.

15

21. Verfahren zur thermischen Behandlung von Halbleitersubstraten mit wenigstens einer Struktur S in einer Prozeßkammer mittels wenigstens eines thermischen Behandlungszyklusses, wobei

20 die Struktur S wenigstens zwei unterschiedliche Materialien A, B aufweist, und wenigstens ein erstes Material A mit einer ersten Komponente X eines Prozeßgases einen ersten Stoff a bilden kann, der durch eine erste Gleichgewichtsreaktion  $A + X \rightleftharpoons a + a'$  beschrieben ist, und das zweite Material B mit einer zweiten Komponente Y des Prozeßgases

25 einen zweiten Stoff b bilden kann, der durch eine zweite Gleichgewichtsreaktion  $B + Y \rightleftharpoons b + b'$  beschrieben ist, wobei  $a'$  und  $b'$  optionale Reaktanden sind, und wobei während der thermischen Behandlung für wenigstens ein Zeitintervall wenigstens eine Konzentration einer Komponente X, Y des Prozeßgases und wenigstens ein weiterer Prozeßparameter so gewählt werden, daß

30 die erste Gleichgewichtsreaktion zum ersten Material A und die zweite Gleichgewichtsreaktion zum zweiten Stoff b hin verschoben sind, wobei wenigstens eine Konzentration und/oder ein Partialdruck wenigstens

einer Komponenten X, Y des Prozeßgases stetig als Funktion des weiteren Prozeßparameters verändert wird.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, das wenigstens ein  
5 Gasflußmesser abhängig von dem weiteren Prozeßparameter geregelt oder gesteuert wird.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet,  
10 daß mittels einer Pumpvorrichtung der Gesamtdruck oder ein Partialdruck innerhalb der Prozeßkammer eingestellt wird.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet,  
15 daß in ein mit einem ersten Prozeßgas gefülltes Volumen ein zweites Prozeßgas mit definierter Zusammensetzung eingeleitet wird.

25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß das Volumen  
variierbar ist.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 25, dadurch gekennzeichnet,  
20 daß das Zeitintervall innerhalb eines thermischen Behandlungszyklusses ist.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 26, dadurch gekennzeichnet,  
25 daß das Zeitintervall sich über mehrere thermische Behandlungszyklen erstreckt.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 27, dadurch gekennzeichnet,  
30 daß die erste Gleichgewichtsreaktion im wesentlichen innerhalb eines thermischen Behandlungszyklusses und die zweite Gleichgewichtsreaktion im wesentlichen innerhalb eines anderen thermischen Behandlungszyklusses stattfinden.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß der weitere Prozeßparameter die Prozeßtemperatur und/oder eine Temperatur eines Materials A, B und/oder eines Stoffes a, b der Struktur S ist.

5

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß der weitere Prozeßparameter eine weitere Gaskonzentration einer Komponente des Prozeßgases, den Druck des Prozeßgases, einen Partialdruck einer Komponente eines Prozeßgases, ein Magnetfeld vorgegebener Stärke, einen UV-Anteil oder eine Kombination der vorgenannten Parameter umfaßt, mit dem der Halbleiter beaufschlagt wird.

10

31. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Struktur horizontale Schichten mit wenigstem einem Material A, B aufweist.

15

32. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Struktur vertikale Schichten mit wenigstem einem Material A, B aufweist.

20

33. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialien A, B durch wenigstens ein von A und B verschiedenes Material C getrennt sind.

25 34. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Stoff b sich am Material B ausbildet.

35. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleitersubstrat einem Siliziumwafer, eine kristalline oder amorphe gewachsenen oder abgeschiedenen Halbleiterschicht, ein Substrat oder eine Schicht aus einem IV-IV-Halbleiter, einem II-VI-Halbleiter oder einem III-V-Halbleiter umfaßt.

30

36. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Material A ein Metall und das zweite Material ein Halbleiter B umfaßt.
- 5 37. Verfahren nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, daß das Metall des ersten Materials A von einer Metalloxid- oder Metallnitridschicht bedeckt ist die den ersten Stoff a umfaßt oder bildet und z.B. mittels der ersten Gleichgewichtsreaktion bildbar ist.
- 10 38. Verfahren nach Anspruch 36 oder 37, dadurch gekennzeichnet, daß der Halbleiter des zweiten Materials B von einer Oxid-, Nitrid- oder Oxynitridschicht wenigstens teilweise bedeckt ist die den zweiten Stoff b umfaßt oder bildet und z.B. mittels der zweiten Gleichgewichtsreaktion bildbar ist.
- 15 39. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 38, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Komponente X und die zweite Komponente Y gleich sind oder wenigstens einen gleichen Stoff umfassen.
- 20 40. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß die optionalen Reaktanden a', b' gleich sind oder wenigstens einen gleichen Stoff umfassen.
- 25 41. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 40, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Komponente X und die zweite Komponente Y Wasser umfassen.
42. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß die Reaktanden a', b' Wasserstoff umfassen.
- 30 43. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 42, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und/oder zweite Komponente X, Y ein Gemisch aus Wasser und Wasserstoff umfaßt.

44. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 43, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und/oder zweite Komponente X, Y ein Gemisch aus Wasser und Sauerstoff umfaßt.

5 45. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 44, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und/oder zweite Komponente X, Y ein erstes Gemisch aus Wasser und Wasserstoff oder ein zweites Gemisch aus Wasser und Sauerstoff umfaßt, und daß während der thermischen Behandlung die erste und/oder zweite Komponente X, Y vom ersten Gemisch in das zweite Ge-  
10 • misch oder umgekehrt übergeführt wird.

46. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 45, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens das Material A und/oder der zweite Stoff b eine Schutz-  
15 gaskomponente während der thermischen Behandlung gebildet und/oder aufrechterhalten wird, und die ein Prozessieren des Halbleitersubstrates in Parameterbereichen hinsichtlich Konzentration der Prozeßgase und wenigstens eines weiteren Parameters, vorzugsweise der Temperatur des Halbleitersubstrats, wenigstens kurzzeitig ermöglicht, in denen die Gleich-  
20 gewichtsreaktion zum ersten Stoff a und/oder zum zweiten Material B hin verschoben ist.

47. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 46, dadurch gekennzeichnet, daß das Prozeßgas wenigstens während eines Teils der thermischen Be-  
25 handlung Ammoniak umfaßt.

48. Verfahren nach Anspruch 46, dadurch gekennzeichnet, daß die schutzschichtbildende reaktive Prozeßgaskomponente Ammoniak umfaßt.

30 49. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 48, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eines der Materialien A, B oder der Stoffe a, b Wolfram, Molybdän, Platin, Iridium, Kupfer und/oder deren Oxide bzw. Nitride umfaßt

wie Wolframoxid und/oder Wolframnitrid.

50. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 49, dadurch gekennzeichnet,  
daß die thermische Behandlung in einer Prozeßkammer einer Schnellheiz-  
anlage durchgeführt wird.

51. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 50, dadurch gekennzeichnet,  
daß die Prozeßkammer wenigstens eine Abdeckvorrichtung zwischen dem  
Halbleitersubstrat und wenigstens einer Prozeßkammerwand zur wenigstens  
teilweisen Abdeckung der Prozeßkammerwand umfaßt.

52. Verfahren nach Anspruch 50, dadurch gekennzeichnet, daß die Schnell-  
heizanlage in einem Temperaturbereich zwischen 930°C und 950°C tem-  
peraturkalibriert ist und daß die Temperaturkalibration von dem Schicht-  
wachstum einer Wolframnitridschicht in Ammoniak Gebrauch macht.

Fig. 1

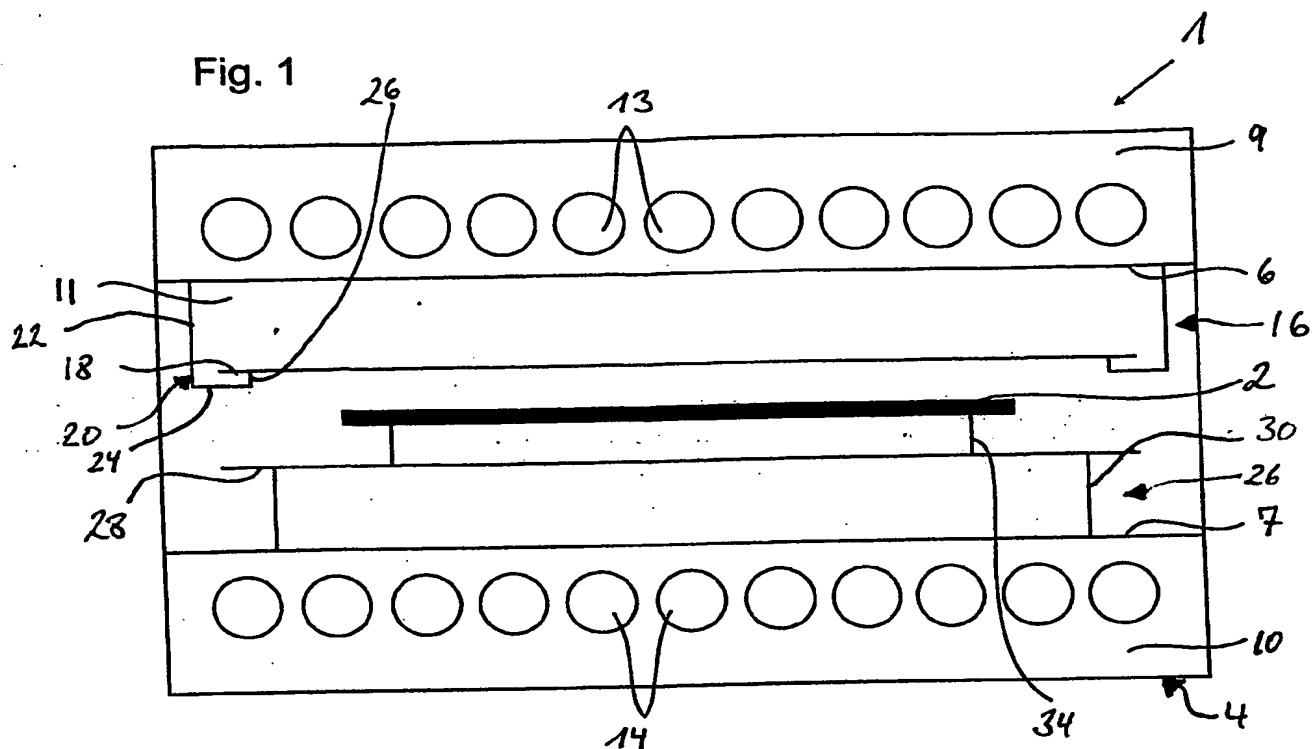


Fig. 2

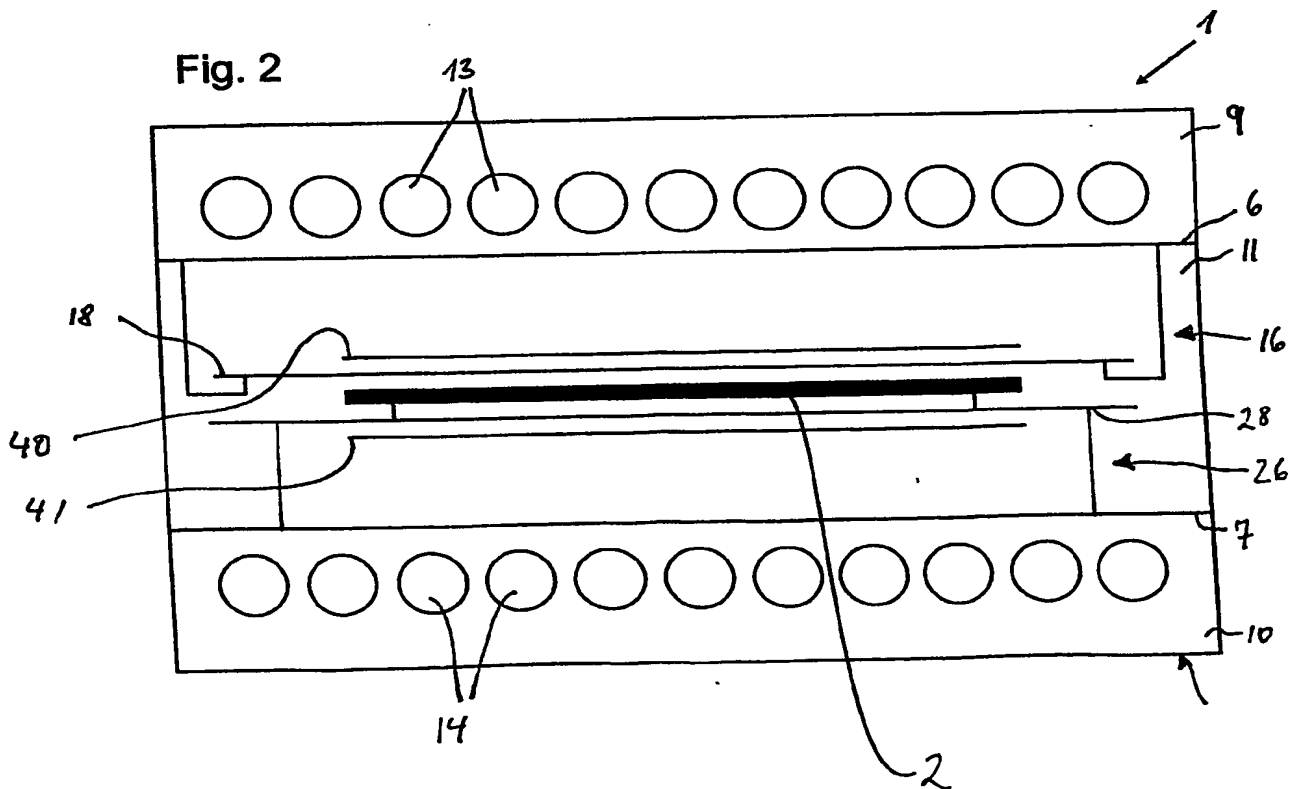


Fig. 3

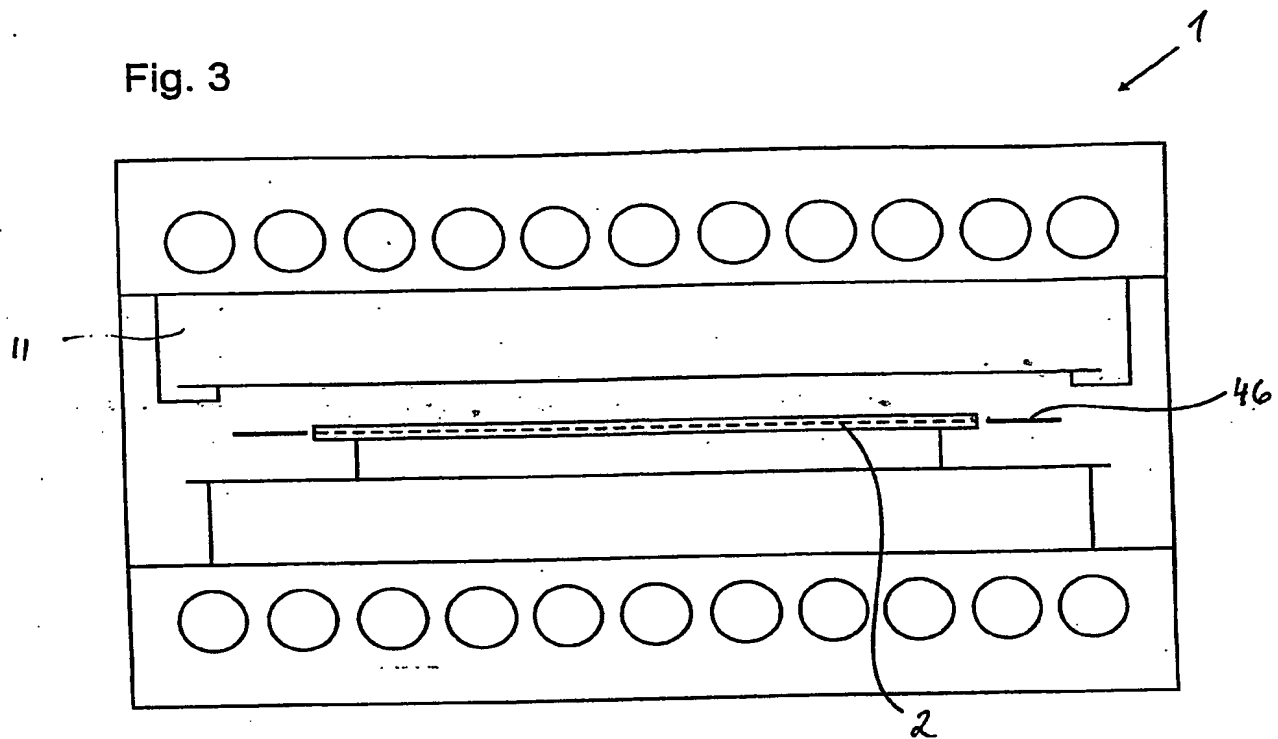


Fig. 4

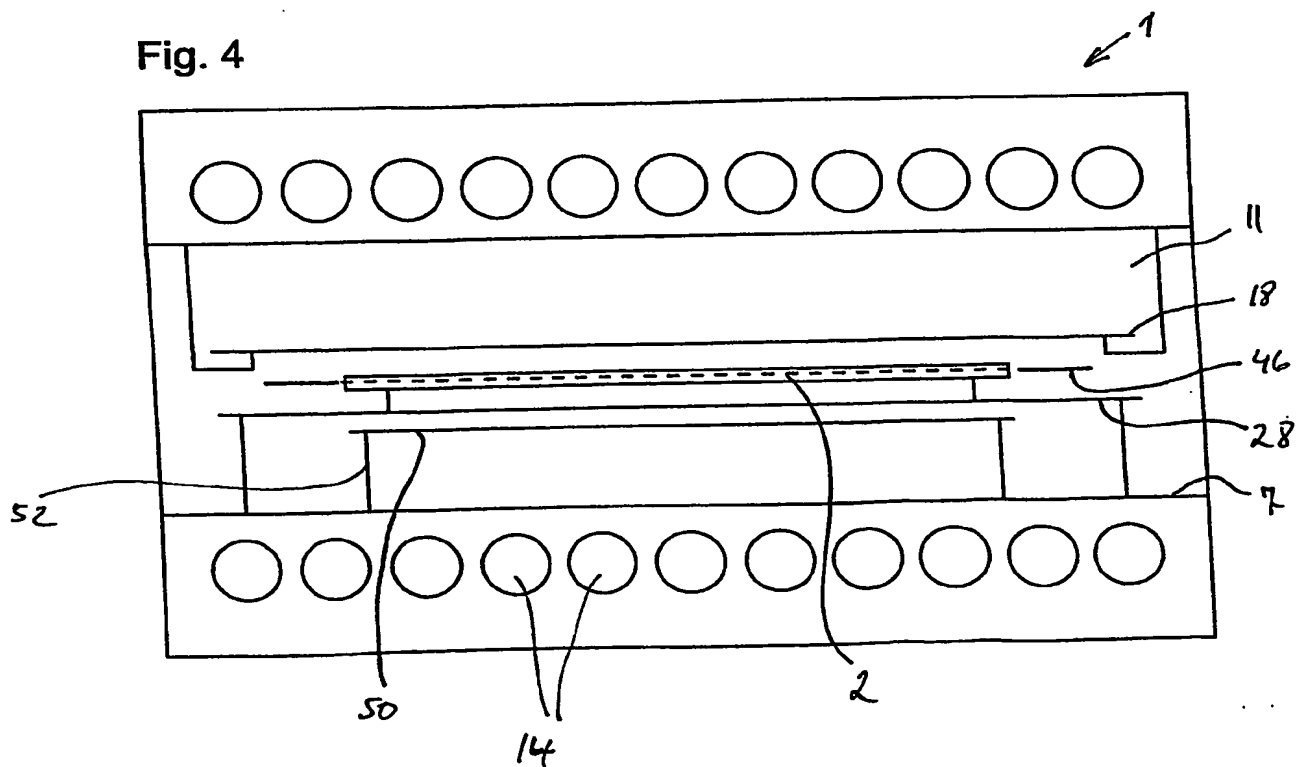




Fig. 5

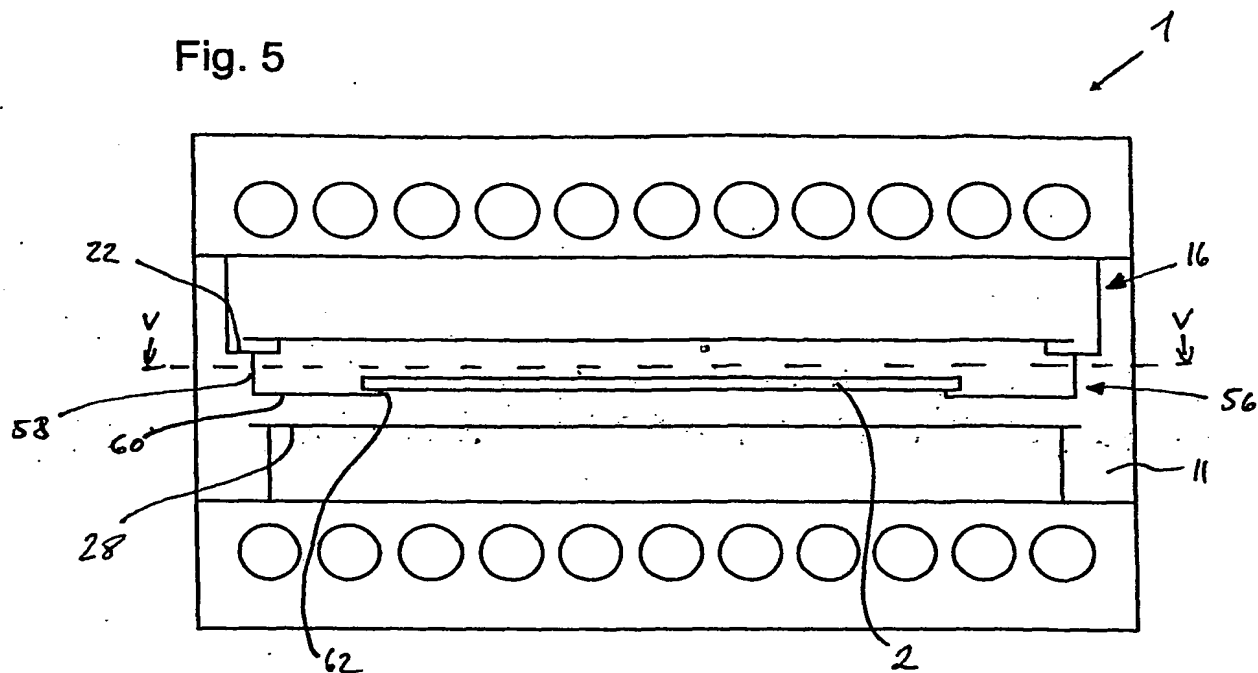
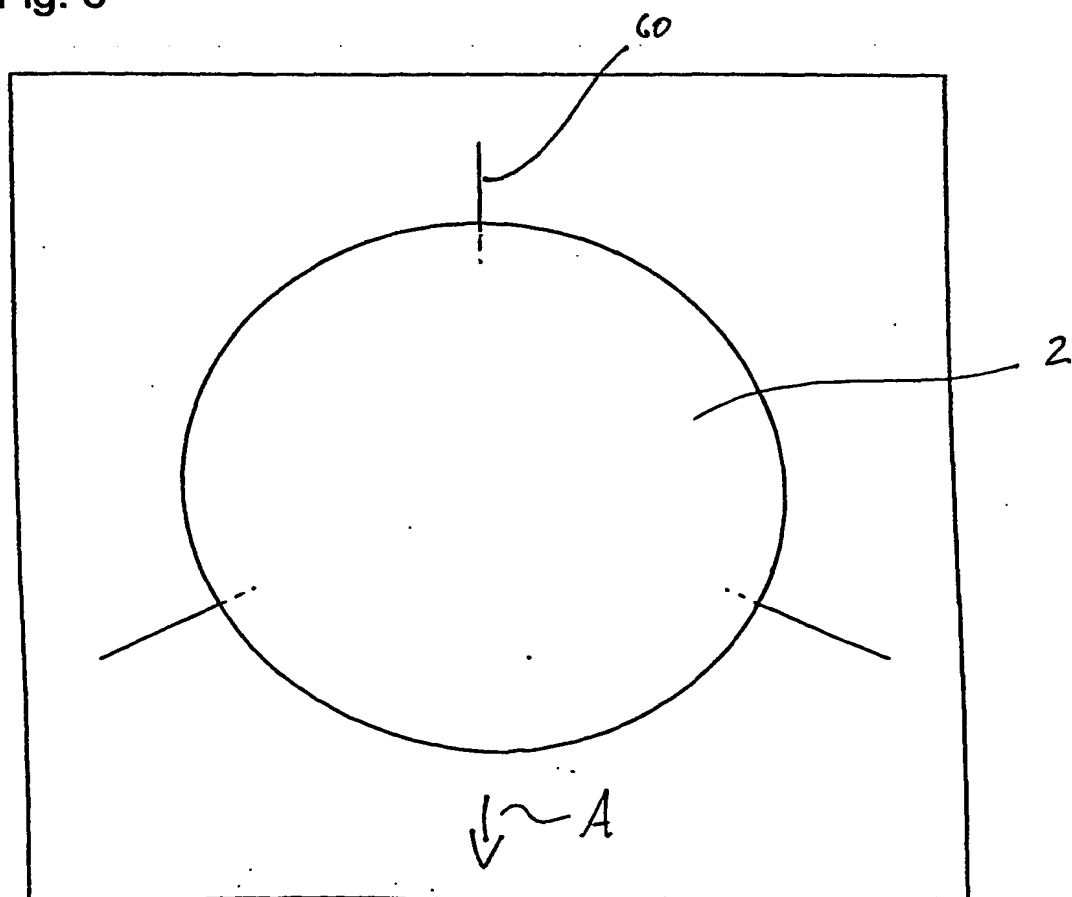


Fig. 6



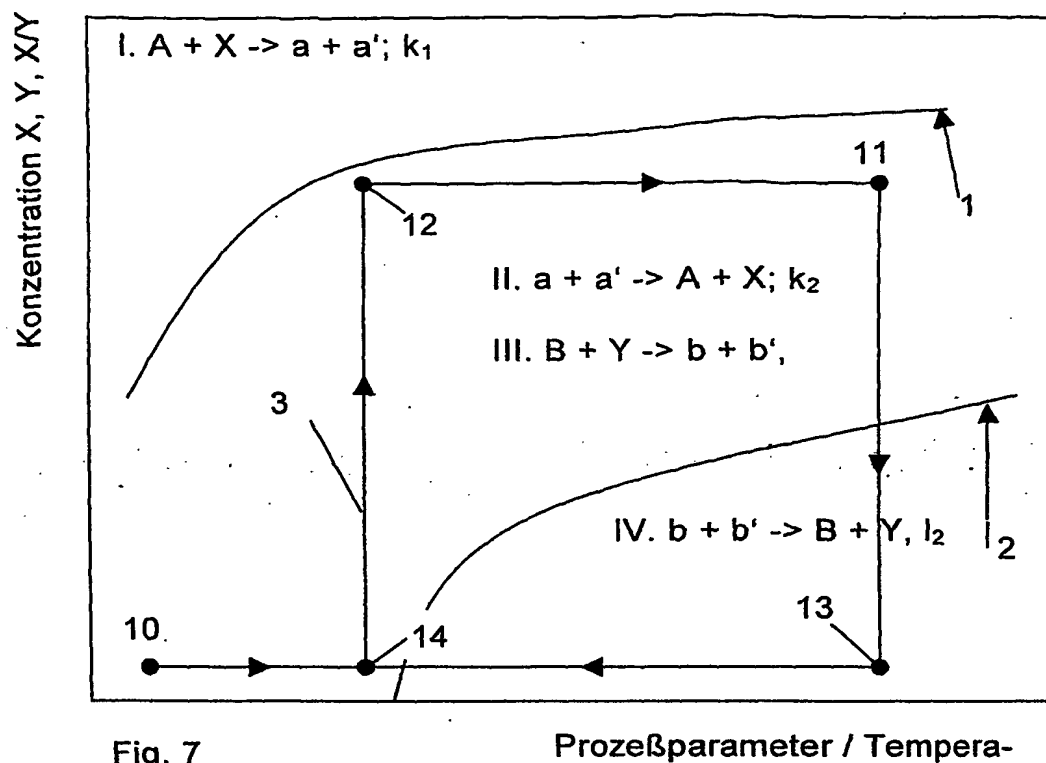


Fig. 7

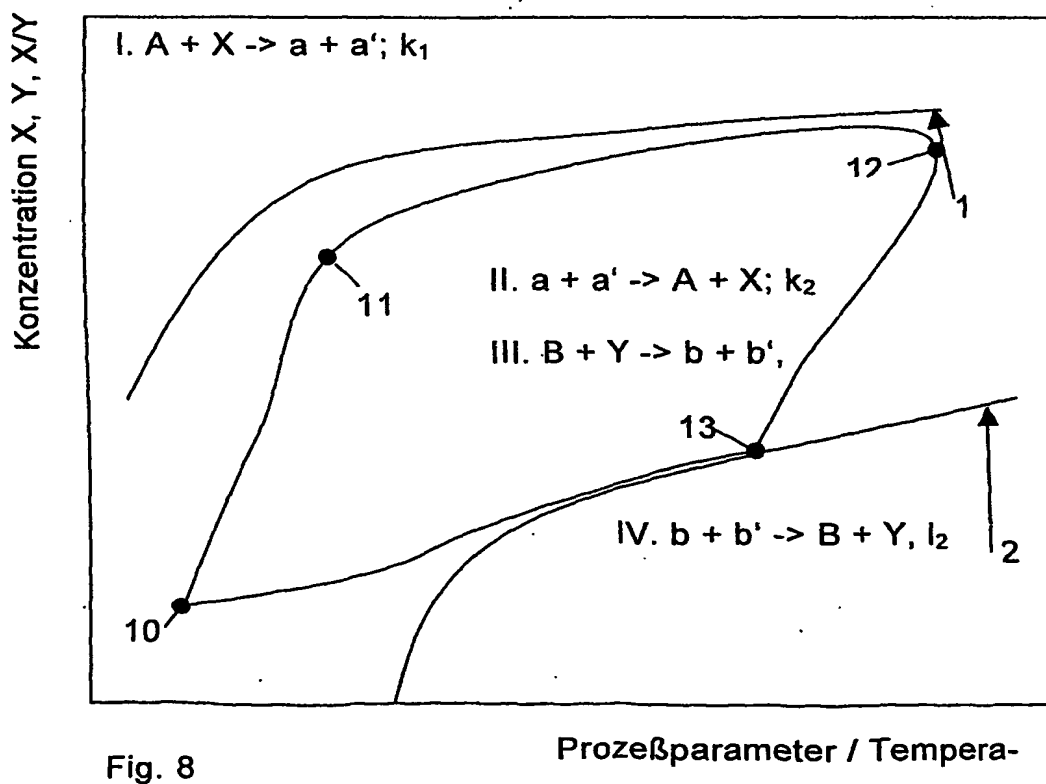


Fig. 8

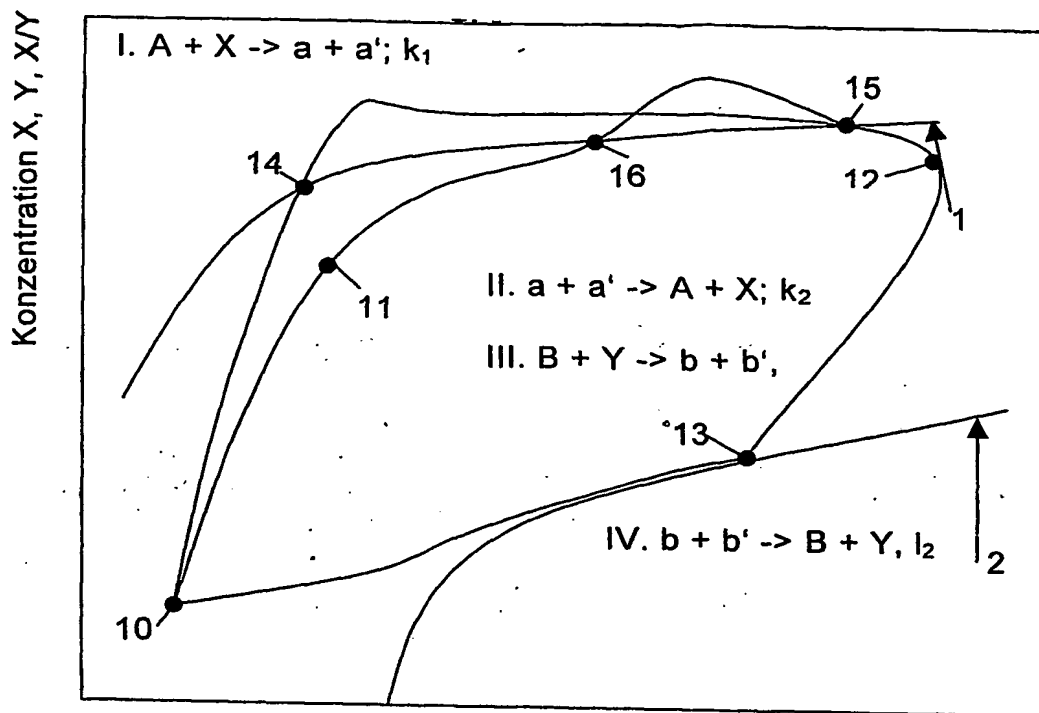


Fig. 9

Prozeßparameter / Tempera-

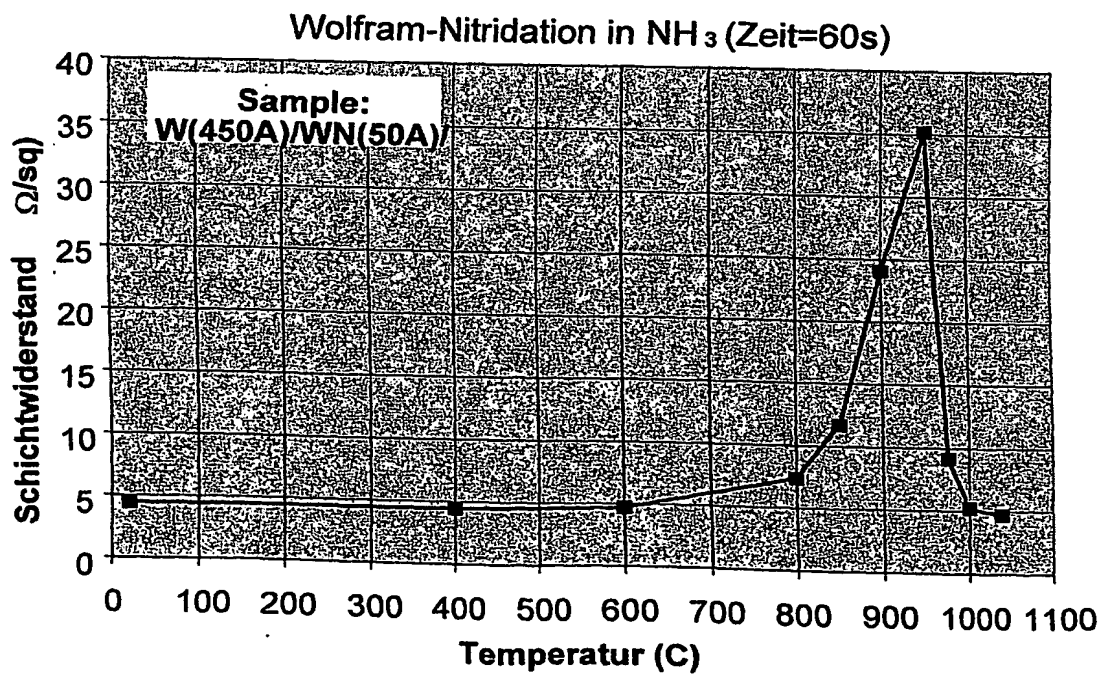


Fig. 10